Die Brillen, das dioptrische Fernrohr und Mikroskop

Carl Neumann







Die Brillen,

das dioptrische Fernrohr

und

Mikroskop.

Ein Handbuch für praktische Optiker

von

Dr. Carl Neumann.

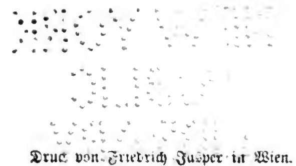
Nebst einem Anhange, enthaltend die Burow'sche Brillen-Scala, und das Wichtigste aus dem Productions- und Preisverzeichnisse der Glasschmelzerei für optische Zwecke von Schott & Gen. in Jena.

Mit 95 Abbildungen.



Wien. Pest. Leipzig.
A. Hartleben's Verlag.
1887.





Druck von Friedrich Jasper in Wien.

Vorwort.

Jeder praktische Optiker muß, wenn er seiner Aufgabe voll und ganz gewachsen sein will, die wichtigsten Waffen des Auges: die Brillen, das dioptrische Fernrohr und Mikroskop nicht nur ihrer Construction nach genau kennen, und ihre Güte zu beurtheilen verstehen, sondern auch im Stande sein, sie selbst auszuführen, sobald er über das dazu nöthige Material nach Belieben verfügen kann. Wenn auch zwar heutigen Tages große optische Industrie-Anstalten, wie die zu Wien, München, Jena, Rathenow u. a. O. die genannten optischen Instrumente in vorzüglicher Güte in größerer Menge und Auswahl, und darum auch meist billiger zu liefern vermögen, und der kleine Optiker nur nöthig hat, dieselben einzeln in den Handel zu bringen, oder Theile derselben zum Zwecke der Ergänzung der ihm zur Reparatur übergebenen Apparate von diesen Anstalten zu beziehen, so wird es immerhin für ihn — abgesehen davon, daß er die Reparaturen nur mit Erfolg wird ausführen können, wenn er ein volles Verständniß für jene Instrumente besitzt — von großem Vortheil sein, sich soweit von jenen Anstalten unabhängig gemacht zu haben, daß er im Stande ist, wenn Zeit und Umstände drängen, nicht nur die bei ihm bestellten Instrumente selbst zu construiren, sondern auch neue Constructionen eigener Idee auszuführen, und die dazu nöthigen Gläser zu berechnen und zu schleifen.

Das vorliegende Werk soll, wie es kein bis jetzt bestehendes ähnliches Werk vermag, dem Optiker ein Wegweiser der gedrängtesten und übersichtlichsten Form zu der oben angedeuteten Unabhängigkeit sein; er soll darnach seine Oculare und Objective selbst berechnen und ausführen lernen, kurzum sich soweit ausbilden können, als er nöthig hat, um sich selbstständig weiter fortzuhelfen.

Die Gesetze der Spiegelung mußten soweit mit besprochen werden, als ihre Kenntniß zum Verständniß des Uebrigen nothwendig erschien.

An mathematischen Kenntnissen sind nur die elementaren der Algebra, Geometrie und Trigonometrie vorausgesetzt.

Da es dem ausübenden optischen Künstler nur höchst erwünscht sein kann, bezüglich des von ihm zu verwendenden Glasmaterials die beste und zugleich billigste Bezugsquelle zu wissen, so ist mit gütiger Erlaubniß der Herren Fabrikanten in einem besonderen Anhange zu vorliegendem Werke das Wichtigste aus dem Productions- und Preisverzeichnisse der Glasschmelzerei für optische Zwecke ꝛc. von Schott & Gen. in Jena abgedruckt. Dieses neueste und zugleich einzige Unternehmen der Welt bietet vorläufig eine Auswahl von 44, nach ihren optischen Eigenschaften genau verzeichneten Glassorten unter besonderem Hinweis auf diejenigen, welche sich für gewisse optische Zwecke vorzüglich eignen.

Der Verfasser.

Inhalt.

Anhang.

Sach-Register.

A.

B.

F.

G.

H.

J.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

Z.

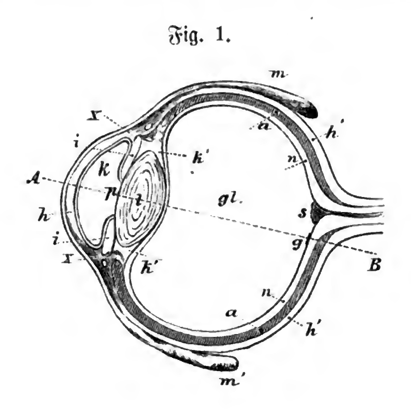
Einleitung.

Jedem praktisch gebildeten Optiker muß daran liegen, mit der Einrichtung desjenigen optischen Apparates vertraut zu sein, welchen der Schöpfer dem Menschen verliehen hat, damit er die große Mannigfaltigkeit der Eindrücke zu empfinden vermag, die unter der Herrschaft des Lichtes stehen. Es soll deswegen hier zunächst eine kurze Beschreibung des Auges vorausgeschickt werden.

Die Gestalt desselben ist keine vollkommen kugelrunde, indem sein senkrechter und sein horizontaler Durchmesser von einander abweichen. Man kann sich das Auge aus drei runden Körpern zusammengesetzt denken, welche schachtelförmig in einander gefügt sind, und von welchen der innerste mit einer durchsichtigen Substanz angefüllt ist. Fig. 1 zeigt uns einen horizontalen, durch die Mitte des Auges geführten Durchschnitt, und mit diesem zugleich die Art und Weise der Zusammensetzung aus seinen Theilen. Die hintere Wandung des Auges ist vom Sehnervs durchbrochen, welcher im Gehirn in der sogenannten Sehnervenvereinigung entspringt, und, nachdem er in das Auge eingetreten, mit seinen letzten (peripherischen) Enden in die sogenannte Netzhaut (Retina) n, die innere Augenfläche bildend, übergeht. Die äußere Hautschicht, die sogenannte harte Haut, zerfällt in die vordere

stärker gewölbte durchsichtige **Hornhaut** (Cornea) h und in die übrige undurchsichtige, weiße, eigentliche **harte Haut** (Tunica sclerotica) h¹. Die mittlere Hautschicht wird von der sogenannten **Aderhaut** (Choroidea) oder Gefäßhaut a und der **Regenbogenhaut** (Iris) i gebildet. Die Aderhaut erstreckt sich bis zum Rande x der harten Haut, da, wo die letztere in die Hornhaut übergeht, während die Regenbogenhaut an dieser Stelle sich ansetzt. Die Mitte der Regen-

Fig. 1.



bogenhaut ist von einer runden Oeffnung, der sogenannten **Pupille** p, durchbrochen. An dem äußeren Ende der letzteren ist ein ringförmiger Schließmuskel, der sogenannte **Verengerer der Pupille**, befestigt. Die schon erwähnte Netzhaut, welche nichts anderes, als ein aus acht übereinanderliegenden Schichten bestehendes zartes Nervengeflecht ist, dehnt sich ebenfalls bis in die Nähe der Regenbogenhaut aus, und hat die Aufgabe, die auf sie auftreffenden, von außen kommenden Lichtstrahlen aufzufangen und durch den Sehnerven zum Bewußtsein zu bringen. Da, wo der Sehnerv in das

Auge tritt, ist der Markhügel s oder die Sehnervenwarze (auch der blinde Fleck genannt), und in der Nähe, genau in der Richtung der Augen- oder Sehachse AB, eine länglich runde, etwas verdickte, gelbliche Stelle, der gelbe Fleck g, in dessen Mitte sich die Netzhautgrube befindet. Derjenige Theil des Netzhautbildes, welcher auf den gelben Fleck fällt, ist der schärfste und deutlichste. Die von den drei oben angeführten Häuten eingeschlossenen Räume sind nicht leer, sondern mit verschiedenen Substanzen angefüllt, und unterscheidet man das Kammerwasser in der vorderen Augenkammer K und der hinteren Augenkammer K^1, ferner die Krystalllinse l und den sogenannten Glaskörper gl. Der letztere, von einer feinen durchsichtigen Haut, der Glashaut, eingehüllt, erfüllt den ganzen übrigen Raum des Augapfels. Die Krystalllinse ist ein durchsichtiger, ebenfalls in einer zarten Hülle eingeschlossener, doppeltconvexer Körper, der nach innen an den Glaskörper anstößt, und durch einen besonderen Muskel in seiner Gestalt etwas geändert werden kann. An den Augapfel sind sechs Muskeln angeheftet, mit Hilfe deren derselbe innerhalb gewisser Grenzen nach allen möglichen Richtungen gewendet werden kann. In der Figur, welche den Durchschnitt des rechten Auges darstellt, ist blos der äußere gerade Augenmuskel m und der innere Augenmuskel m^1 angedeutet.

Noch ist (nach Boll) auf der Netzhaut ein dieselbe bedeckender intensiver Purpur, der Sehpurpur, hervorzuheben, der (nach Kühn) wie eine empfindliche photographische Platte wirkt, aber im Lichte schnell vergeht, und auch im Dunkeln nach dem Tode nicht viel über 24 Stunden erhalten bleibt.

Das Auge, als optischer Apparat, wirkt im Allgemeinen so, daß es von jedem Gegenstande vor demselben, von einer

bestimmten Entfernung an gerechnet, auf seiner Netzhaut ein verkehrtes verkleinertes Bild entwirft, welches vermittelst des Augennervs in umgekehrter Lage zum Bewußtsein gebracht wird. Wir kommen später noch ausführlicher auf diesen Gegenstand zurück, und wollen jetzt zunächst zur Betrachtung derjenigen Erscheinungen übergehen, deren Kenntniß zum Verstehen der wichtigsten optischen Gesetze unerläßlich ist.

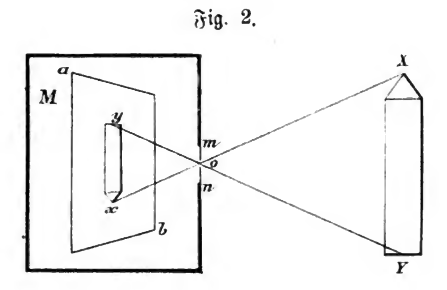
Wenn man von einem Lichtstrahle spricht, so meint man diejenige Linie, in welcher die Wirkung des von einem Punkte ausgehenden Lichtes sich fortpflanzt. Der durchsichtige Körper, z. B. das Glas oder die Luft, in welchem sich ein Lichtstrahl fortpflanzt, heißt das Mittel oder Medium. Der Weg, den ein Licht in ein und demselben Mittel oder Medium von überall gleicher Beschaffenheit zurücklegt, ist stets eine gerade Linie. Es läßt sich dies sofort dadurch nachweisen, daß ein leuchtender Punkt in ein und derselben Luftschicht (von überall derselben Dichtigkeit) durch einen undurchsichtigen Gegenstand verdeckt wird, der sich in der geraden, unser Auge mit diesem Punkte verbindenden Linie befindet.

Nur durch Licht werden uns die Gegenstände sichtbar, d. h. von allen Punkten derselben gelangen wieder Lichtstrahlen in unser Auge.

Denkt man sich, M (Fig. 2) sei ein gegen den Eintritt von Licht vollständig verschlossenes Zimmer, a b ein weißer, dem Fensterladen m n gegenüber befindlicher senkrecht stehender Schirm und X Y ein in größerer Entfernung von dem Zimmer befindlicher und von Tageslicht beleuchteter Thurm. Bringt man nun in dem Fensterladen eine feine Oeffnung o an, so gelangen die vom Punkte X ausgehenden Strahlen in der Richtung X x, und die vom Punkte Y ausgehenden Strahlen in der Richtung Y y durch o in das verfinsterte

Zimmer; aber ebenso treffen auch Strahlen von allen anderen Punkten des Thurmes auf den Schirm a b und entwerfen auf demselben ein umgekehrtes Bild y x von demselben. Steht nun vor der Oeffnung o nicht blos der eben erwähnte Thurm, sondern breitet sich vor derselben eine ganze Landschaft aus, so wird ein treues, aber umgekehrtes Bild derselben auf dem Schirme sich zeigen, und in Bewegung befindliche Gegenstände werden auch sich bewegende Bilder geben. Das Bild wird um so schärfer werden, je kleiner die Oeffnung gemacht wird,

Fig. 2.



aber auch umsomehr an Helligkeit verlieren. Steht der Oeffnung die Sonne gegenüber, so wird ein Bild derselben auf dem Schirme sich zeigen, welches ebenfalls mit der Verminderung der Oeffnung immer schärfer wird, allein nur bis zu einer gewissen Grenze. Nimmt man die Oeffnung sehr klein, so erscheint das Sonnenbild größer, als es in Folge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes sein sollte, und am Rande mit farbigen Ringen umsäumt.

Hieraus folgt, daß die Lichtstrahlen unter Umständen eine Ablenkung von ihrer geradlinigen Richtung erfahren. Genauere Untersuchungen haben ergeben, daß diejenigen Lichtstrahlen, welche an den Kanten undurchsichtiger Körper vor=

übergehen, eine solche Ablenkung erleiden, welche man Beugung oder Inflexion des Lichtes genannt hat.

Wendet man statt einer Oeffnung zwei sehr feine, nahe nebeneinander stehende Oeffnungen an, und rückt den Schirm so nahe, daß die durch dieselben eintretenden Sonnenstrahlen zwei Sonnenbilder hervorrufen, welche zum Theil übereinandergreifen, so erscheint zwar derjenige Theil, welcher beiden Bildern gemeinschaftlich ist, im Allgemeinen heller, als die übrigen Theile, aber an den Grenzen des gemeinschaftlichen Theiles nimmt man in abwechselnder Reihenfolge hellere und dunklere Streifen wahr, von welchen letztere (die also von beiden Oeffnungen Licht erhalten) noch dunkler sind, als diejenigen Stellen, die nur durch eine Oeffnung erhellt werden. Schließt man die eine Oeffnung, so verschwindet sofort die Erscheinung der helleren und dunkleren Streifen.

Diese merkwürdige Thatsache, daß Licht zu Licht gebracht, statt vermehrte Helligkeit, unter Umständen auch verminderte Helligkeit hervorzurufen vermag, wurde die Veranlassung, das Licht als die Folge der äußerst feinen Schwingungen der materiellen Theilchen eines leuchtenden Körpers anzunehmen, welche durch den das Weltall erfüllenden Aether in ähnlicher Weise wie die Schallwellen durch die Luft fortgepflanzt werden. Wie nämlich zwei in der Luft oder im Wasser erregte Wellen da, wo sie zusammentreffen, sich entweder verstärken, oder schwächen, oder wohl gar sich vollständig aufheben können, so müssen auch zwei in gleicher Richtung fortschreitende Lichtwellen beim Zusammentreffen sich entweder verstärken oder schwächen, resp. aufheben können, je nachdem die zusammentreffenden Wellentheile sich in gleichen oder in entgegengesetzten Schwin-

gungszuständen befinden. Man nennt diese Erscheinung die Interferenz des Lichtes.

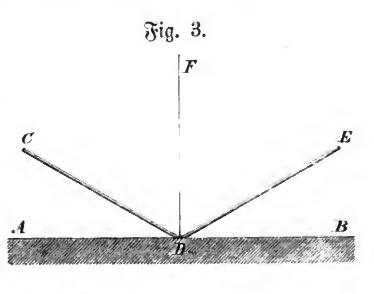
Diese Erscheinungen, sowie die der Beugung, sind sämmtlich 1665 von Grimaldi zuerst beobachtet worden.

Von der Zurückwerfung des Lichtes (Katoptrik).

Die Körper werden nur dadurch für uns sichtbar, daß sie einen Theil des von einem leuchtenden Körper empfangenen Lichtes zurückwerfen oder reflectiren, und daß ein Theil von diesem zurückgeworfenen Lichte in unser Auge gelangt. Die nicht reflectirten Lichtstrahlen werden von dem beleuchteten Körper entweder absorbirt (verschluckt), oder auch, wenn sie durchsichtig sind, zum Theil durchgelassen. So wird z. B. ein beleuchtetes Stück Glas die empfangenen Lichtstrahlen theils zurückwerfen, theils absorbiren, theils hindurchlassen.

Es sei Fig. 3 A B die Fläche eines Körpers, welche in D von dem Lichtstrahle C D getroffen wird. Errichtet man in D ein Loth F D auf A B, so wird dasselbe das Einfallsloth, der Winkel C D F der Einfallswinkel genannt. Der Strahl C D wird nun in D von der Fläche A B so zurückgeworfen, daß seine neue Richtung D E mit F D einen Winkel bildet, welcher dem Einfallswinkel gleich ist. Der Winkel F D E heißt der Reflexionswinkel. Man präge sich also folgende Gesetze ein:

Fig. 3.

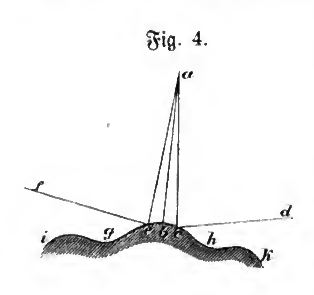


1. **Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.**

2. **Der einfallende Lichtstrahl liegt mit dem reflectirten Lichtstrahle und dem Einfallslothe in ein und derselben auf der reflectirenden Fläche senkrecht stehenden Ebene.**

Glatte (gut polirte) Flächen, welche die von einem leuchtenden oder beleuchteten Körper ausgehenden Lichtstrahlen so zurückwerfen, daß dadurch ein Bild dieses Körpers entsteht, nennt man **Spiegel**, und die Art ihrer Reflexion nennt man **regelmäßige Reflexion**. Die Spiegel können, je nach ihrer Gestalt, in **ebene** und **gekrümmte** unterschieden werden. Vollkommene Spiegel wird man also nicht selbst sehen können, sondern nur die von ihnen entworfenen Bilder derjenigen Gegenstände, welche sich in denselben spiegeln. Sind wir im Stande, einen beleuchteten Körper nach allen möglichen Richtungen hin zu sehen, so kann seine Oberfläche kein Spiegel mehr, sondern nur eine rauhe, eine mit unzähligen Erhöhungen und Vertiefungen versehene Fläche sein.

Fig. 4.



Es läßt sich dies leicht beweisen. Es sei Fig. 4 e b c ein (hier in einem sehr vergrößerten Maße dargestellter) erhöhter Theil einer nicht glatten Körperoberfläche. Der von einem leuchtenden Punkte a senkrecht auffallende Lichtstrahl a b wird wieder senkrecht zurückgeworfen, während ein anderer Lichtstrahl a c nach der Richtung c d, wieder ein anderer Licht-

strahl a e in der Richtung e f und so jeder fernere Lichtstrahl immer wieder in einer anderen Richtung reflectirt wird, so daß die Erhöhung e b c sich selbst wie ein leuchtender Punkt verhält, der nach allen Richtungen hin Licht ausstrahlt, also auch nach allen Richtungen gesehen wird. Ein gleiches Verhalten würden die Vertiefungen g und h und die Erhöhungen i und k zeigen, daher bewirken, daß die ganze Körperoberfläche nach allen Richtungen hin sichtbar ist.

Man nennt eine solche Zurückwerfung des Lichtes, derzufolge die meisten erleuchteten Körper sichtbar sind, die unregelmäßige Reflexion.

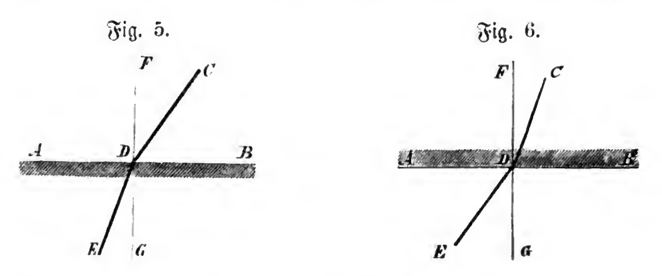
Auf der unregelmäßigen Reflexion der Sonnenstrahlen an den Dunsttheilchen der Atmosphäre, an den Wolken, an den Lufttheilchen u. s. w. beruht die Verbreitung des Lichtes nach allen Räumen, in welche die Sonnenstrahlen direct nicht dringen können, d. i. die sogenannte Tageshelle bei bewölktem Himmel, die Morgen- und Abenddämmerung.

Von der Brechung des Lichtes (Dioptrik).

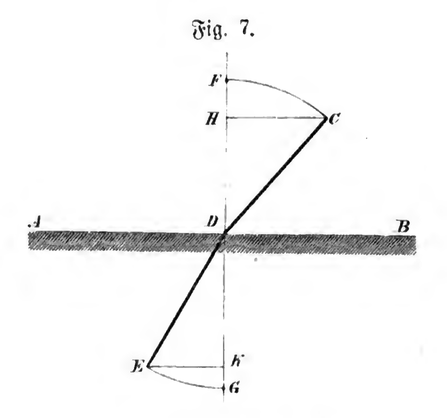
Trifft ein Lichtstrahl, welcher aus einem Medium in ein anderes, z. B. aus Luft in Glas übergeht, senkrecht auf die Trennungsfläche beider Medien, so behält er seine ursprüngliche Richtung bei; trifft er aber schief auf, so erleidet er beim Eintritt in das andere Mittel eine Ablenkung von der ursprünglichen Richtung, d. h. er wird gebrochen.

Es sei A B (Fig. 5) die Trennungsfläche zwischen Luft (oben) und Glas (unten) und C D ein Lichtstrahl,

welcher (in der Luft) in schiefer Richtung in D auf die Glasfläche A B auftrifft. Nach seinem Eintritt in das Glas wird er nun so von seiner ursprünglichen Richtung abge-



lenkt, d. h. gebrochen, daß der Winkel G D E kleiner ist, als der Winkel F D C. Den Winkel F D C nennt man den



Einfallswinkel, ∢ G D E den Brechungswinkel und das Loth F G das Einfallsloth. Tritt umgekehrt der Lichtstrahl C D (Fig. 6) aus Glas (oben), also aus dem

dichteren Mittel, in die Luft (unten), also in das dünnere Medium, so wird er nach seinem Eintritte in die Luft so gebrochen, daß ∢ G D E größer als ∢ F D C. Geht also das Licht aus einem dünneren Mittel in ein dichteres über, so wird es zum Einfallslothe, im entgegengesetzten Falle vom Einfallslothe gebrochen, indessen nicht immer, da besonders die brennbaren Körper das Licht stärker brechen, als andere von gleicher oder wohl gar größerer Dichtigkeit. Z. B. brechen die dünneren Substanzen Spiritus und Terpentin das Licht stärker, als das dichtere Wasser.

Denkt man sich in Fig. 7 C D E wieder als einen durch zwei (in A B von einander geschiedene) Medien (Luft und Wasser) in D gebrochenen Strahl, G E und C F als Bogen eines um D mit dem Halbmesser C D gezogenen Kreises, und C H und E K als Lothe auf F G, so ist $\frac{CH}{CD} = \sin FDC$, und $\frac{EK}{DE} = \sin GDE$. Setzt man $CD = DE = 1$ und $\sphericalangle FDC = e$ und $\sphericalangle GDE = b$, so ist $CH = \sin e$ und $EK = \sin b$ und $\frac{CH}{EK} = \frac{\sin e}{\sin b}$

Für ein und dasselbe Medium, z. B. für eine und dieselbe Glassorte, ist das Verhältniß des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels ein bestimmtes und unveränderliches (constantes). Es ist also $\frac{\sin e}{\sin b} = n$ eine constante Größe für ein und dasselbe Medium.

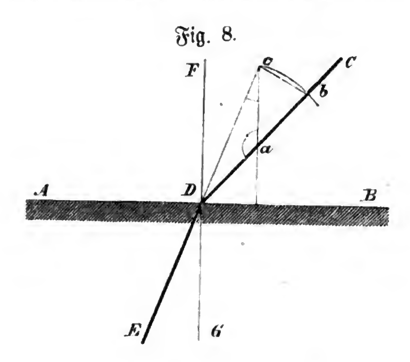
Nach dieser Gleichung läßt sich immer die Richtung des gebrochenen Strahles berechnen, wenn die des einfallenden Strahles gegeben ist.

Der Werth n des eben genannten Brechungsverhältnisses heißt der Brechungsexponent, Brechungs-

quotient oder *Brechungsindex* des entsprechenden Mediums. Wenn es z. B. heißt: der Brechungsindex des schwersten Silicat-Flintglases (wie es in dem glastechnischen Laboratorium von Schott & Gen. zu Jena dargestellt wird) betrage 1,9626, so hat man darunter zu verstehen, daß beim Eintritte eines Lichtstrahles aus Luft in dieses Glas sich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie 1,9626 : 1 verhält.

Der Brechungsindex eines Mediums wird

Fig. 8.



also erhalten, wenn man den Sinus des Einfallswinkels durch den Sinus des Brechungswinkels dividirt.

Um die Lage des gebrochenen Strahles DE (Fig. 8) für den Eintritt eines Strahles CD aus Luft in Glas, dessen Brechungsindex = 1,96, durch Construction zu finden, hat man das Einfallsloth FG und die Richtung des einfallenden Strahles CD zu zeichnen. Diese Richtung muß natürlich durch den Winkel FDC gegeben sein. Nachdem dies geschehen, trägt man nach einem Transversalmaßstab die beiden Stücke Da = 1 und Db = 1,96 auf CD ab, welche

sich also verhalten, wie der Sinus des Brechungswinkels zum Sinus des Einfallswinkels. Durch a zieht man dann parallel zu F G eine Gerade und um D mit dem Halbmesser D b einen Kreisbogen, welcher jene Grade in c schneidet. Die Verlängerung D E der Graden c D ist die Richtung des Strahles in dem Glase. Denn da nach einem trigonometrischen Gesetze im △ D a c sich sin D c a : sin D a c = D a : D c verhält, also wie 1 : 1,96, ∢ D c a aber gleich dem Brechungswinkel G D E, und ∢ D a c das Supplement zu ∢ b a c und ∢ b a c = ∢ F D C, so muß sin G D E : sin F D C sich wie 1 : 1,96 verhalten.

Wenn man mit n den Brechungsindex für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Luft in ein Medium M und mit n^1 den Brechungsindex für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Luft in ein Medium M^1 bezeichnet, so ist $\frac{n^1}{n}$ der Brechungsindex für den Uebergang eines Lichtstrahles aus M in M^1. Um dies durch ein Beispiel zu erläutern, nehme man für M Wasser mit dem Brechungsindex n = 1,34 und für M^1 leichtes Silicat-Flintglas mit dem Brechungsindex n^1 = 1,59, den Uebergang aus der Luft vorausgesetzt, so ist der Brechungsindex für den Uebergang des Lichtstrahles aus Wasser in das Flintglas = 1,59 : 1,34 = 1,186.

Geht ein Lichtstrahl durch ein durchsichtiges, von parallelen Wänden begrenztes Medium M (Fig. 9), welches sich in einem zweiten durchsichtigen Medium M^1 befindet, in schiefer Richtung hindurch, so hat der austretende Lichtstrahl C D zu dem eintretenden A B parallele Richtung. Denn bei seinem Uebergange aus M^1 in M wird er um so viel zum Einfallslothe gebrochen, als er bei seinem Uebergange in M^1 wieder vom Einfallslothe gebrochen wird, eine größere Dichtigkeit bei M als bei M^1 vorausgesetzt.

Um den Brechungsindex eines festen, durchsichtigen Körpers, für welchen wir von nun an, weil wir ausschließlich hier nur damit zu thun haben, allgemein das Glas nehmen wollen, genau zu bestimmen, giebt man demselben die Form eines dreiseitigen Prismas. Es sei z. B. in Fig. 10 A B C der senkrechte Querschnitt eines solchen Prismas und D E F G der Weg eines von einem leuchtenden Punkte ausgehenden

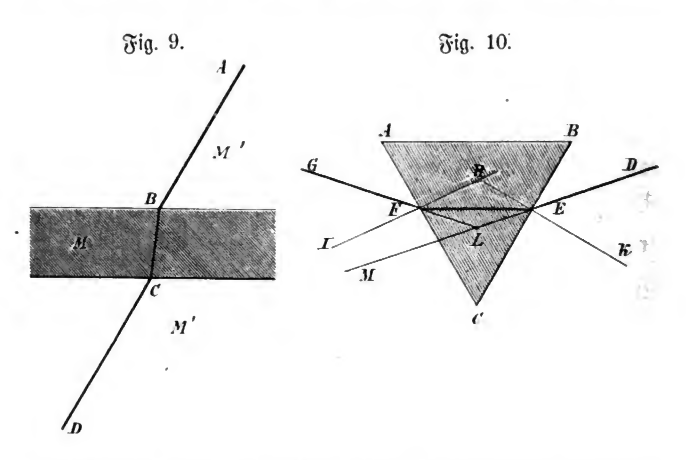


Fig. 9. Fig. 10.

Lichtstrahles, wie er ungefähr nach dem bisher Dagewesenen erfolgen muß (wenn wir annehmen, daß das Glasprisma sich in Luft befindet). Verfolgen wir den Strahl in der Richtung von D aus, so wird er also wesentlich durch das Prisma von derselben abgelenkt. Bezeichnen wir die Größe dieser Ablenkung, d. h. den Winkel G L M mit α, so muß α gleich der Summe der einzelnen bei E und F stattgefundenen Ablenkungen, d. h. also $= \sphericalangle$ F E L $+ \sphericalangle$ E F L sein, was auch in der That der Fall ist, denn $\sphericalangle$ G L M muß als Außenwinkel des Dreiecks E F L $= \sphericalangle$ F E L $+ \sphericalangle$ E F L sein.

Setzen wir der Kürze wegen $\sphericalangle$ FEL $= \beta$ und $\sphericalangle$ EFL $= \gamma$, so ist also $\alpha = \beta + \gamma$.

Dreht man nun das Prisma um seine Achse, so muß auch der Werth dieser Ablenkung ein anderer werden. Man wird, wenn man diese Drehung sehr vorsichtig und langsam ausführt, finden, daß das Bild des leuchtenden Punktes bei einer gewissen Stellung des Prismas von dem Punkte selbst die kleinste Entfernung erlangt, die dagegen allmälig wieder größer wird, wenn man die Drehung weiter fortsetzt. Das eben genannte Minimum der Ablenkung findet genauen Untersuchungen zufolge dann statt, wenn der Theil FE des Strahles, welcher innerhalb des Prismas liegt, mit den brechenden Flächen AC und BC desselben gleiche Winkel bildet.

Setzt man nun den brechenden Winkel C des Prismas als bekannt voraus, ferner $\sphericalangle$ DEK $=$ a, $\sphericalangle$ HEF $=$ b, $\sphericalangle$ GFI $=$ c und $\sphericalangle$ HFE $=$ d, so ist in dem Falle der kleinsten Ablenkung:

$$\sphericalangle b = \sphericalangle d, \ \sphericalangle a = \sphericalangle c, \ \sphericalangle \beta = \sphericalangle \gamma$$

$$\sphericalangle \alpha = 2\beta \text{ und } \sphericalangle C = 2b.$$

Da nun $\sphericalangle \beta = \sphericalangle a - \sphericalangle b$, also $\sphericalangle a = \sphericalangle b$

$$+ \sphericalangle \beta = \sphericalangle \frac{1}{2} C + \sphericalangle \frac{1}{2} \alpha$$

ferner:

$$\frac{\sin a}{\sin b} = n, \text{ also: } \sin a = n \sin b,$$

so ist, wenn die obigen Werthe substituirt werden,

$$\sin \frac{1}{2} (C + \alpha) = n \sin \frac{1}{2} C,$$

daher

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2} (C + \alpha)}{\sin \frac{1}{2} C}$$

Hieraus folgt, daß man blos den brechenden Winkel des Prismas und den Winkel der kleinsten Ablenkung zu messen braucht, um den Brechungsindex der Glasmasse zu finden, woraus das Prisma gefertigt worden ist.

Wir kommen später nochmals auf diesen Gegenstand zurück.

Das um 1 verminderte Quadrat des Brechungsindex, also den Werth $n^2 - 1$, nennt man die brechende Kraft, und den Quotient aus diesem Werthe und der Dichtigkeit oder dem specifischen Gewichte d einer Substanz, also den Werth $\frac{n^2 - 1}{d}$, das Brechungsvermögen dieser Substanz. Beiläufig sei hier bemerkt, daß der Brechungsindex das Verhältniß der Geschwindigkeiten angiebt, mit welchen das Licht sich in zwei aneinander grenzenden Medien (hier also Luft und Glas) bewegt.

Den Brechungsindex für den Uebergang des Lichtes aus dem leeren Raum in ein Medium nennt man den absoluten Brechungsindex des letzteren.

Der absolute Brechungsindex für den Uebergang des Lichtes aus dem leeren Raum in Luft ist = 1,000294.

Wie bereits oben (S. 12 u. 13) erläutert worden ist, läßt sich die Richtung des gebrochenen Lichtstrahles im Glase durch eine einfache Construction finden, wenn seine Richtung in der Luft und der Brechungsindex gegeben ist. Man wird begreifen, daß, wenn der Einfallswinkel größer angenommen wird, auch der Brechungswinkel zunehmen muß. Allein letzteres hat seine Grenzen, denn, während der Einfallswinkel eines Strahles beim Uebergange aus Luft in Glas von 0 bis 90° wachsen kann, wird der Brechungswinkel nur bis zu einer gewissen Grenze wachsen; von dieser Grenze an wird

aber gar keine Brechung mehr stattfinden. Man findet die Größe dieses **Grenzwinkels**, wenn man den Brechungsindex n kennt, auf die Weise, daß man in

$$\frac{\sin e}{\sin b} = n$$

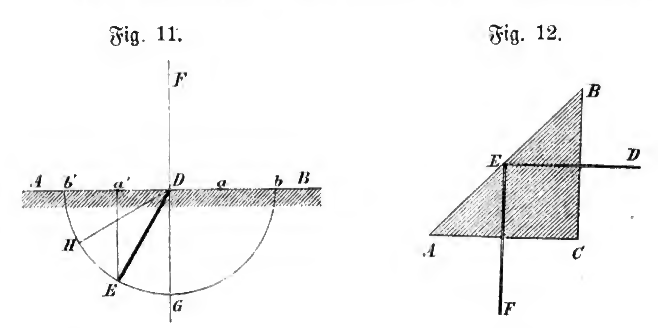
$e = 90^0$ setzt, dann ist, da $\sin 90^0 = 1$; $\frac{1}{\sin b} = n$ oder $\sin b = \frac{1}{n}$, in welchem Falle dann $\sphericalangle$ b der **Grenzwinkel** heißt.

Alle in einem Medium sich bewegenden Strahlen, welche mit dem Einfallslothe einen Winkel machen, der den Werth des Grenzwinkels übersteigt, können also gar nicht mehr austreten, sondern werden an der Grenzfläche des Mediums vollständig gespiegelt, d. h. sie erleiden daselbst eine **totale Reflexion**. Bei dieser Art von Spiegelung an der Fläche eines durchsichtigen Körpers verliert der Strahl kaum etwas von seiner ursprünglichen Kraft.

Will man den Grenzwinkel durch Construction finden, so verfährt man auf folgende Weise. Wir benutzen wieder das obige Beispiel des schwersten Silicat-Flintglases mit dem Brechungsindex n = 1,96. Es sei A B (Fig. 11) die Grenzfläche zwischen Luft und Glas und F G das Einfallsloth. Man mache nach einem beliebigen Transversalmaßstab $Da = Da^1 = 1$, und $Db = 1{,}96$, ziehe mit dem Halbmesser D b den Kreisbogen $b\,G\,b^1$, $a^1 E$ parallel zu F G und verbinde E mit D, so ist $\sphericalangle$ E D G der gesuchte Grenzwinkel, welchen kein Brechungswinkel bei dem Uebergange eines Lichtstrahles aus Luft in dieses Silicat-Flintglas überschreiten kann. Sämmtliche Lichtstrahlen, die zwischen F D und D B die Glasfläche in D treffen, werden demnach so gebrochen, daß ihre gebrochenen Theile zwischen D E und

D G zu liegen kommen und umgekehrt, sämmtliche in dem Glase zwischen D E und D G die Fläche A B in D treffende Lichtstrahlen werden nach ihrem Uebergange in Luft Richtungen annehmen, welche zwischen F D und D B liegen. Jeder zwischen E D und A D in D auftreffende Strahl, z. B. H D, wird aber nicht mehr in Luft übergehen, also gebrochen werden können, er wird daher in D eine totale Reflexion erleiden.

Der Grenzwinkel wird im Allgemeinen



um so kleiner sein, je größer der Brechungsindex eines Mediums ist.

Es sei z. B. $n = 1{,}5019$,*) so ist, da

$$\sin b = \frac{1}{1{,}5019},$$

der Grenzwinkel b für dieses Glas $= 41^0\ 44'\ 44''$. Dieser Winkel würde der denkbar größte Grenzwinkel für Glas sein, wenn 1,5019 der kleinste bis jetzt existirende Brechungsindex für Glas wäre.

*) Der kleinste Brechungsindex des in dem Productions- und Preisverzeichnisse von Schott & Gen. in Jena aufgeführten Silicat-Crownglases.

Denken wir uns nun aus diesem Glase ein rechtwinkeliges Prisma A B C (Fig. 12), dessen rechter Winkel bei C liegt, angefertigt, und einen Lichtstrahl D E senkrecht zur Fläche B C in dieses Prisma übergehend, so trifft derselbe in E die Hypotenusenfläche unter einem Winkel von 45°, und da nun 45° > 41° 44′ 44″, so kann er nicht mehr bei E in Luft übergehen, sondern muß total reflectirt, in der zu A C senkrechten Richtung E F das Prisma wieder verlassen; es wirkt also hier die Hypotenusenfläche A B wie ein vollkommener Spiegel.

Auf der Erscheinung der totalen Reflexion beruht die der Luftspiegelung in einem aus verschieden dichten Luftschichten bestehenden Theile der Atmosphäre.

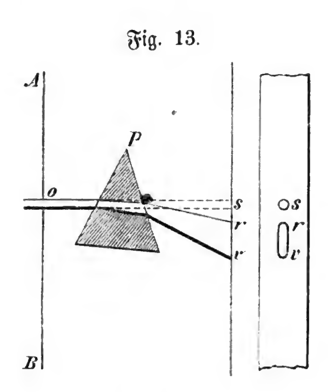
Von der Farbenzerstreuung des Lichtes (Dispersion).

Läßt man durch eine kleine Oeffnung o (Fig. 13) in der Wand A B eines dunklen Zimmers Sonnenstrahlen eintreten und diese von einem weißen Schirme auffangen, so entsteht, wie wir schon oben gesehen haben, auf dem letzteren ein weißes Sonnenbild s; fängt man aber diese Strahlen vorher mit einem Glasprisma P auf, welches ungefähr die in Fig. 13 angegebene Lage hat, so entsteht ein langgezogenes, also verzogenes, in allen möglichen Farben prangendes Sonnenbild, das Spectrum r v, an einer anders gelegenen Stelle. Man unterscheidet an diesem Spectrum eine gewisse Reihenfolge der Farben, und zwar von oben nach unten: Roth,

Orange, Gelb, Grün, Blau (Indigo) und Violett mit allmäligen Uebergängen dazwischen. Sucht man die Eindrücke dieser verschiedenen Farben auf verschiedene Weise, z. B. durch schnelle, schwingende Bewegung des Prismas, mit einander zu vermischen, so erhält man wieder den Eindruck des weißen Sonnenlichtes.

Bringt man an irgend einer Stelle des Spectrums in dem Schirme eine Oeffnung an, so tritt durch diese der

Fig. 13.



auf sie fallende farbige Lichtstrahl als gesonderter Lichtstrahl hindurch und kann als solcher auch gesondert benutzt werden.

So ergeben sich denn aus diesem Versuche folgende wichtigen Gesetze:

1. Das weiße Licht ist aus unzählig vielen verschiedenfarbigen Lichtstrahlen zusammengesetzt.

2. Sämmtliche farbige Strahlen rufen, vereinigt, wieder den Eindruck des weißen Lichtes hervor.

3. **Die einzelnen farbigen Lichtstrahlen unterscheiden sich durch die verschiedene Größe der Brechbarkeit von einander.**

Diejenigen Strahlen, welche die schwächste Brechbarkeit besitzen, sind die rothen (r) und diejenigen, welche am stärksten gebrochen werden, die violetten (v).

Strahlen von noch größerer Brechbarkeit, als die violetten, sind die nicht mehr sichtbaren, aber chemisch wirksamen ultravioletten Strahlen.

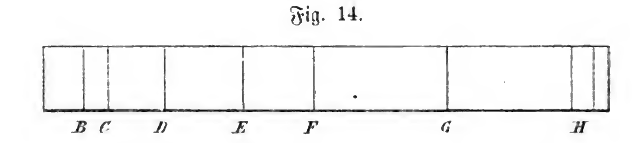
Will man mit einfarbigem oder **homogenem** Lichte experimentiren, so kann man sich des gelben Lichtes einer Weingeistflamme bedienen, deren Docht mit Kochsalz eingerieben worden ist.

Wenn man aus dem Spectrum eine Farbe ausschaltet und die übrig gebliebenen (am besten mit Hilfe einer noch später zu beschreibenden achromatischen Linse) mischt, so erhält man stets eine bestimmte Farbe, die, mit der ausgeschalteten gemischt, zusammen weißes Licht giebt. Man nennt zwei solche Farben, deren Mischung den Eindruck des weißen Lichtes hervorbringt, **complementäre Farben**. Schaltet man z. B. Roth aus dem Spectrum aus, so geben die übrigen zusammen Grün, und schaltet man Grün aus, so geben alle anderen Roth. Roth und Grün sind daher complementäre Farben. Ebenso sind Orange und Blau, Gelb und Violett complementär.

Wenn man das Sonnenlicht — besser ein »Strahlenbündel« — durch einen schmalen, senkrechten Spalt in ein verfinstertes Zimmer treten läßt und ein achromatisches Fernrohr so einstellt, daß man den Spalt scharf begrenzt erblickt, so wird man, sobald das Strahlenbündel vor seinem Eintritt in das Fernrohr gezwungen wird, erst durch ein Prisma zu gehen, dessen Achse mit der Spaltöffnung parallel

liegt, das Sonnenspectrum durch das Fernrohr in bedeutend größerem Maßstabe und in demselben eine große Reihe senkrechter schwarzer Linien erblicken, die nach ihrem Entdecker die Fraunhofer'schen Linien genannt werden. Das Prisma muß natürlich vorher so gedreht sein, daß das aus ihm heraustretende Spectrum auf das Fernrohr fällt. Kirchhoff und Angström haben mehr als 2000 solcher Linien im Sonnenspectrum festgestellt und der Lage nach gemessen. Um in der großen Menge der über das ganze Spectrum unregelmäßig vertheilten Linien einige feste Punkte zu haben, hat Fraunhofer acht hervorragende Streifen gewählt, die er

Fig. 14.



mit A, B, C, D, E, F, G und H bezeichnete und die ungefähr im Spectrum so vertheilt sind, wie Fig. 14 andeutet. Von diesen Linien liegen A, B und C im Roth, D im Orange, E im Uebergange von Gelb in Grün, F im Uebergange von Grün in Blau, G im Indigo und H im Violett.

Prismen, welche aus verschiedenen Substanzen gebildet sind, geben bei gleichen brechenden Winkeln im Allgemeinen Sonnenspectren von verschiedener Länge.

Das Spectrum eines Flintglasprismas ist ungefähr noch einmal so lang, als das eines Crownglasprismas. Auch erscheinen die auf gleiche Länge gebrachten Sonnenspectren verschiedener Prismen nicht gleichartig insofern, als die Lage und Abgrenzung der Farben eine verschiedene ist, dergestalt aber, daß dieselben Linien immer mit denselben Farben zusammentreffen.

Da die Linie A nicht gut wahrnehmbar ist, so nennt man gewöhnlich den Unterschied der Brechungsverhältnisse der Strahlen, welche den Fraunhofer'schen Linien B und H entsprechen, die totale Dispersion, während mit partieller Dispersion der Unterschied der Brechungsverhältnisse zweier Strahlenarten bezeichnet wird.

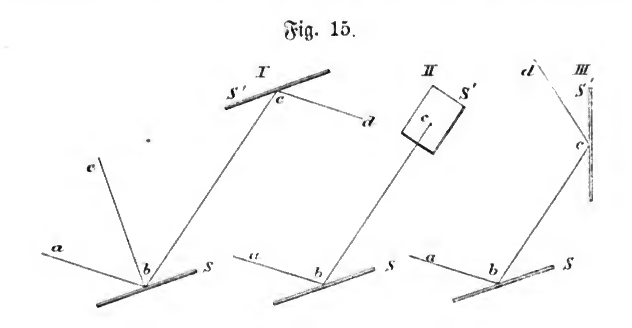
Von der Polarisation des Lichtes.

Sobald ein Lichtstrahl unter irgend einem Winkel auf eine spiegelnde Fläche auffällt, so wird er, wie wir oben (S. 7) schon sahen, zum Theil absorbirt, zum Theil zurückgeworfen. Indessen der reflectirte Strahl besitzt nicht unter allen Umständen dieselben Eigenschaften, d. h. er zeigt nicht in allen Fällen nach allen Seiten hin gleiche Wirksamkeit, wie wir sogleich sehen werden; man sagt dann, der Strahl sei polarisirt.

Es sei S (Fig. 15, I.) ein ebener Glasspiegel (eine an der Rückseite berußte Spiegelglasplatte, oder wirklich schwarzes Glas) und a b ein Lichtstrahl, der so auf S auftrifft, daß sein Einfallswinkel, also $\sphericalangle$ a b e = 55° ist. Denkt man sich nun dem Spiegel S einen gleichen Spiegel S^1 genau parallel gegenübergestellt, so daß der Strahl a b in der Richtung b c reflectirt, den zweiten Spiegel S^1 in c trifft, so wird er von dem letzteren zum zweiten Male unter dem Winkel von 55° nach der Richtung c d zurückgeworfen, welche mit den Theilen a b und b c in einer zu S und S^1 senkrechten Ebene liegt. Dreht man nun den Spiegel S^1 langsam so um sich

selbst, daß er zu b c immer denselben Neigungswinkel (also 35°) beibehält, so wird die Leuchtkraft (Intensität) des Strahles c d immer schwächer, bis sie endlich bei einer Drehung des Spiegels um die Achse b c um 90° gleich Null wird, d. h. also bis die Reflexionsebenen der beid[illegible] senkrecht aufeinander stehen, wie in Fig. 15, II. Setzt man die Drehung des Spiegels S¹ über diese Lage fort, so nimmt die Intensität des Lichtstrahles wieder zu, bis sie bei einer Drehung um 180° (wie in Fig. 15, III.) ihr Maximum

Fig. 15.



erreicht. Fährt man in der Drehung immer weiter fort, so wiederholt sich das Spiel von vorhin, der Lichtstrahl c d erreicht bei einer Drehung von 270° abermals die Intensität gleich Null, bei 360° wieder das ursprüngliche Maximum. Der reflectirte Lichtstrahl erlangt also bei einer vollständigen Umdrehung des Spiegels S¹ um 360°: bei 0° und 180° ein Maximum, und bei 90° und 270° ein Minimum seiner Intensität.

Als Lichtquelle kann man entweder das Licht einer kleinen Kerzenflamme nehmen, die so weit gestellt ist, daß ihre Strahlen unter dem oben genannten Winkel den Spiegel S

treffen, oder man kann auch ein durch einen schmalen Spalt eintretendes Strahlenbündel benutzen. Der Spiegel S, der zuerst von dem Lichte getroffen wird, welcher also das Licht polarisirt reflectirt, wird der *Polarisationsspiegel* oder *Polariseur*, und der zweite Spiegel S^1, der das von dem ersten Spiegel polarisirte Licht auffängt, der *Zerlegungsspiegel* oder *Analyseur* genannt.

Das Auge, welches in der Richtung d e nach dem Spiegel S^1 schaut, wird daher bei der Drehung des letzteren einen Lichteindruck von abwechselnder Stärke empfangen.

Diejenige Ebene, in welcher der von einem Spiegel reflectirte Strahl polarisirt ist, nennt man die *Polarisationsebene*. In Fig. 15 ist die Reflexionsebene des Spiegels S die Polarisationsebene.

Der Winkel, unter welchem ein Lichtstrahl von einer Substanz reflectirt werden muß, damit er vollständig polarisirt wird, heißt der *Polarisationswinkel*.

Er ist für Glas, wie wir schon gesehen haben, etwa gleich 55°.

Ist der Polarisationswinkel einer Substanz gefunden worden, so läßt sich daraus der Brechungsindex dieser Substanz finden, mithin umgekehrt der Polarisationswinkel, wenn der Brechungsindex bekannt ist, und zwar nach:

$$\tan \alpha = n$$

wenn α der Polarisationswinkel und n der Brechungsexponent ist.

Man hat *vollständig* und *unvollständig polarisirtes* Licht zu unterscheiden. Trifft ein *vollständig polarisirter* Lichtstrahl unter einem Winkel von 55° auf eine Spiegelglasplatte, welche in der Weise wie der Spiegel S^1 in Fig. 15 gedreht wird, so verschwindet der reflectirte Strahl zweimal vollständig, während bei

einem unvollständig polarisirten Lichtstrahle der reflectirte Strahl wohl auch an Intensität zweimal zu- und zweimal abnimmt, aber nicht gänzlich verschwindet.

Ein gewöhnlicher oder natürlicher Lichtstrahl unterscheidet sich demnach von einem polarisirten Lichtstrahle dadurch, daß die Intensität desselben nach seiner durch einen Spiegel hervorgerufenen Reflexion unverändert bleibt, die Spiegelfläche mag bei unveränderter Achsenstellung gedreht werden wie man will.

Geht die Reflexion unter einem Winkel vor sich, der größer oder kleiner als der Polarisationswinkel ist, so kommt nur eine unvollständige Polarisation zu Stande, d. h. bei gekreuzten Reflexionsebenen der oben angeführten beiden Spiegel findet wohl eine Abnahme der Lichtintensität, aber keine vollständige Aufhebung des Lichtstrahles statt.

Geht ein Lichtstrahl unter einem schiefen Einfallswinkel durch eine Glasplatte hindurch, so zeigt er sich in derjenigen Ebene unvollständig polarisirt, welche zur Brechungsebene senkrecht steht.

Geht dagegen ein Lichtstrahl durch eine größere Menge übereinander geschichteter paralleler Glasplatten (Glasplattensäule), so wird derselbe fast vollständig polarisirt, so daß man eine solche Glasplattensäule als einen ziemlich guten Polariseur und Analyseur betrachten kann.

Nicht blos die Glasfläche, sondern auch fast jede andere polirte Fläche — die eines Metalls ausgenommen — kann als Polarisationsspiegel benutzt werden. Der Polarisationswinkel hat aber für verschiedene Substanzen auch verschiedene Werthe.

Von der doppelten Brechung des Lichtes.

Die durchsichtigen Krystalle, welche nicht dem regulären Krystallsystem angehören, besitzen die merkwürdige Eigenschaft, jeden einfallenden Lichtstrahl in zwei Strahlen zu spalten, die sich im Innern des Krystalls mit verschiedenen Geschwindigkeiten nach verschiedenen Richtungen fortpflanzen.

Besonders auffällig tritt diese Erscheinung an den großen Kalkspathkrystallen Islands, dem sogenannten isländischen Doppelspath hervor, welcher in zahlreichen Formen vorkommt, die sämmtlich der rhomboëdrischen Abtheilung des hexagonalen Krystallsystems angehören. Charakteristisch ist seine Spaltbarkeit nach drei den Flächen des Hauptrhomboëders parallelen Richtungen.

Der eine von den beiden Strahlen, in welche ein Lichtstrahl bei seinem Eintritte in einen Kalkspathkrystall gespalten wird, wird stärker als der andere gebrochen und zwar streng nach dem Brechungsgesetze, weshalb er auch der regelmäßig gebrochene oder ordentliche Lichtstrahl genannt wird. Der andere schwächer gebrochene Lichtstrahl hingegen folgt anderen Gesetzen, und wird der unregelmäßig gebrochene oder außerordentliche Strahl genannt.

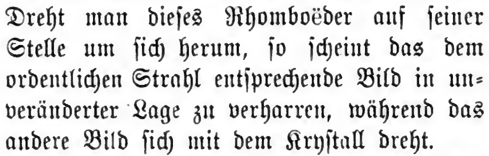
Die beiden, durch doppelte Brechung entstandenen Lichtstrahlen sind polarisirt, und ihre Polarisationsebenen stehen senkrecht aufeinander.

In jedem Körper, der das Licht doppelt bricht, also auch in dem Kalkspathe, giebt es eine Richtung, in welcher der regelmäßig und unregelmäßig gebrochene Lichtstrahl

zusammentreffen, so daß ein Lichtstrahl, welcher in dieser Richtung in den Krystall tritt, nicht gebrochen und nicht gespalten wird. Die Linie, welche diese Richtung angiebt, nennt man die **optische Achse** des Krystalls.

Ein Kalkspathrhomboëder, welches über einen auf weißem Grunde gezeichneten Punkt gelegt wird, giebt von demselben zwei Bilder, von welchem das eine dem ordentlichen, das andere dem außerordentlichen Strahle entspricht. Dreht man dieses Rhomboëder auf seiner Stelle um sich herum, so scheint das dem ordentlichen Strahl entsprechende Bild in unveränderter Lage zu verharren, während das andere Bild sich mit dem Krystall dreht.

Fig. 16.



Der Engländer **Nicol** hat zwei Kalkspathprismen A B D und A D C (Fig. 16) so mit einander vereinigt, daß sie nur den unregelmäßig gebrochenen Strahl durchgehen lassen. Sie sind an der gemeinschaftlichen, in einer besonderen Richtung verlaufenden Fläche A D mit Kanadabalsam zusammengekittet, so daß ein Lichtstrahl, welcher durch A B in den Krystall übergeht, mit seinem ordentlich gebrochenen Theile an der Fläche A D eine totale Reflexion erfährt, während der außerordentlich gebrochene Theil durch das Prisma hindurch geht.

Ein solches Nicol'sches Prisma wirkt noch besser, als der Polarisationsspiegel. Man kann auf äußerst bequeme Weise mit Hilfe dieses Prismas das Licht eines jeden leuchtenden Körpers auf seine Polarisation prüfen. Schaut man durch dasselbe nach dem Körper und dreht es dabei langsam einmal um 360° um die Achse des Rohres, so wird das von dem Körper ausgehende Licht polarisirt erscheinen,

sobald es zweimal ein Maximum und zweimal ein Minimum seiner Intensität wahrnehmen läßt, dagegen unpolarisirt, wenn es bei jeder Stellung des Prismas die ursprüngliche Intensität beibehält.

Von den sphärischen Linsen.

Man versteht unter sphärischen Linsen Körper aus durchsichtigem Stoff, welche von zwei Kugelflächenstücken, oder von einem Kugelflächenstück und einer Ebene begrenzt wird.

Diejenige durchsichtige Substanz, mit welcher wir es hier allein zu thun haben, ist das Glas, und wollen wir die daraus geformten sphärischen Linsen einfach blos mit dem Ausdruck »Linsen« bezeichnen.

Man hat in Bezug auf ihre optische Wirkung zwei Arten von Linsen im Allgemeinen zu unterscheiden, und zwar:

1. Sammellinsen, die in der Mitte dicker sind als am Rande, und

2. Zerstreuungslinsen, welche in der Mitte dünner als am Rande sind.

Die Sammellinsen (Fig. 17) können wieder sein:

I. biconvex (doppeltconvex) mit zwei erhabenen Kugelflächenstücken,

II. planconvex, mit einer ebenen und einer erhabenen kugelförmigen Begrenzungsfläche,

III. concav-convex, mit einer hohlen (schwächer gekrümmten) und einer erhabenen (stärker gekrümmten) kugelförmigen Oberfläche.

Die Zerstreuungslinsen (Fig. 18) zerfallen in:

I. biconcave (doppeltconcave), mit zwei hohlen Kugelflächenstücken,

II. planconcave, mit einer ebenen und einer hohlen Begrenzungsfläche, und

III. convex-concave, mit einer (schwächer gekrümmten) erhabenen und einer (stärker gekrümmten) concaven Oberfläche.

Es sind nun noch folgende Begriffe, welche bei der Betrachtung einer Linse eine wichtige Rolle spielen, hervor-

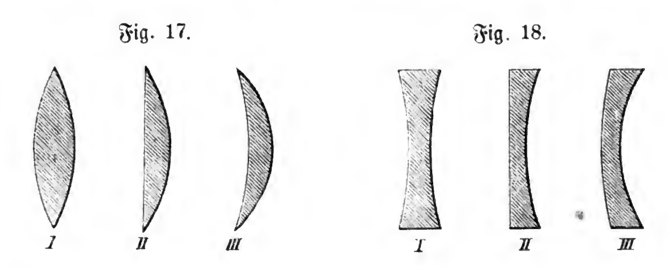


Fig. 17. Fig. 18.

zuheben. Man betrachte zu dem Zwecke Fig. 19, in welcher H K den Querschnitt einer biconvexen Linse darstellt. Man nennt:

ein Strahlenbüschel oder homocentrisches Strahlenbündel denjenigen Strahlencomplex, der nach einer Seite hin verlängert, sich in einem einzigen Punkte schneidet;

ein Strahlencentrum den gemeinschaftlichen Schnittpunkt der (wirklichen oder gedachten) Verlängerungen;

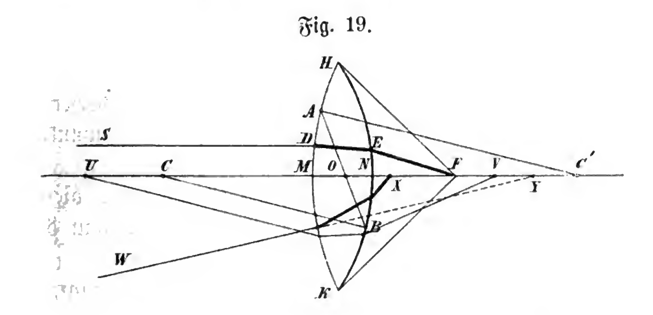
CC^1 die Hauptachse, welche die beiden Krümmungs- oder Kugelmittelpunkte C und C^1 der Linse H K, aus welchen die Bogen H M K und H N K beschrieben sind, verbindet;

M und N die Scheitel der Linse, wo die Achse die sphärischen Flächen derselben schneidet;

O den optischen Mittelpunkt, wo die Verbindungslinie A B der Endpunkte der beiden parallelen Krümmungshalbmesser C B und C¹ A die Achse schneidet;

Hauptstrahlen diejenigen Strahlen, welche durch den optischen Mittelpunkt der Linse gehen. Sie nehmen bei ihrem Austritte aus der Linse eine Richtung an, welche derjenigen vor dem Eintritt parallel ist;

Fig. 19.



Nebenachsen diejenigen Hauptstrahlen, welche geradlinig durch die Linse hindurchgehen, sobald die Linsendicke nur gering ist;

M N die Linsendicke, d. i. die Entfernung beider Scheitel;

F den Brennpunkt, in welchem sich alle parallel und nahe zur Achse durchgehenden Strahlen S D durchschneiden; jede Linse hat zwei Brennpunkte;

N F die Brennweite der Linse, d. i. der Abstand N F des Brennpunktes F vom Scheitel N;

U und V, oder X und Y conjugirte Punkte, wenn von einem Punkte U in der Achse außerhalb des

Brennpunktes ein Strahlenbüschel nahe der Achse durch die Linse geht und sich dasselbe wieder hinter der Linse in dem Punkte V außerhalb des zweiten Brennpunktes vereinigt;

Y das virtuelle Bild von X, wenn ein Strahlenbüschel von einem Punkte X zwischen dem Brennpunkte und der Linse nahe der Achse durch dieselbe geht, daher so gebrochen wird, daß es, divergirend zur Achse austretend, rückwärts verlängert sich in einem zweiten Punkte Y schneidet;

V N oder X N die Vereinigungsweite, d. i. die Entfernung irgend eines Punktes V oder X in der Achse von der Linse, in welchem irgend ein durch letztere hindurchgegangenes Strahlenbüschel sich wieder vereinigt.

∢ H F K die Oeffnung der Linse, d. i. derjenige Winkel, welchen zwei Verbindungslinien ihres Brennpunktes mit den Endpunkten ihres Durchmessers bilden.

Wenn die beiden Krümmungshalbmesser einer biconvexen oder biconcaven Linse gleich sind, so nennt man dieselbe gleichseitig.

Was die Lage des optischen Mittelpunktes anlangt, so ist noch zu merken, daß dieselbe

a) bei Biconvex- und Biconcavlinsen zwischen die beiden Linsenflächen;

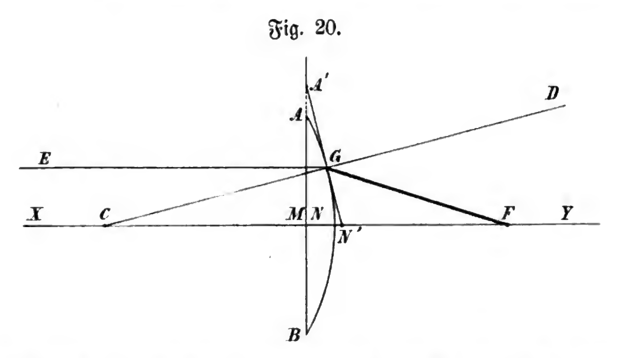
b) bei concav-convexen und convex-concaven Linsen außerhalb des Linsenkörpers, und

c) bei planconvexen und planconcaven Linsen in den Durchschnittspunkt der Achse mit der Kugelfläche fällt.

Um sich nun speciell über den Gang der Strahlen durch Linsen zu unterrichten, betrachte man zunächst Fig. 20, in welcher A B den Querschnitt einer planconvexen Linse, C den Kugelmittelpunkt zur Fläche A N B, X Y die Achse und E G einen mit der Achse parallel durch die Linse gehenden Lichtstrahl vorstellt. Da E G senkrecht auf die Fläche A B

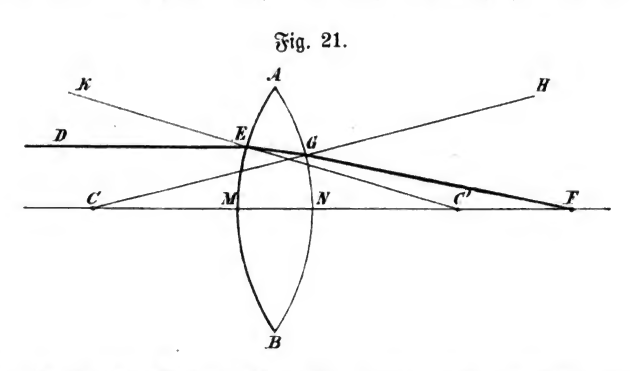
auftrifft, so geht er ungebrochen bis zu dem Punkte G der convexen Fläche des Glases hindurch, erleidet aber daselbst

Fig. 20.



bei seinem Uebergange in Luft eine Brechung in der Richtung G F von dem Einfallslothe C D weg, demnach so, als ob

Fig. 21.



er durch das Prisma M A¹ N¹ ginge, von welchem die Fläche A¹ N¹ die Linsenfläche A N B in G tangirt.

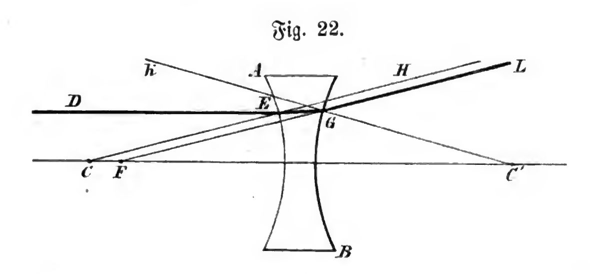
Es sei ferner A B (Fig. 21) eine biconvexe Linse, C C¹ ihre Achse, D E ein parallel zu letzterer auf die Linse

auftreffender Strahl. Offenbar erleidet derselbe, da er in E angekommen, dort mit dem Einfallslothe K C¹ den Einfallswinkel D E K bildet, beim Uebergange in Glas eine Brechung zu diesem Lothe, so daß also der Brechungswinkel G E C¹ kleiner ist, als der Einfallswinkel D E K. In G angelangt, erleidet er beim Uebergange in Luft eine abermalige Brechung, aber vom Einfallslothe C H, so daß ∢ H G F > ∢ E G C; der Lichtstrahl muß mithin auch hier, wie im obigen Falle, die Achse in F schneiden, d. h. also im Brennpunkte der Linse A B, wenn der mit der Achse parallel einfallende Lichtstrahl nicht weit von der Achse liegt.

Verfolgen wir in ähnlicher Weise den Gang eines mit der Achse parallel laufenden Lichtstrahles durch eine biconcave Linse, so werden wir finden, daß er nach dem Durchgange die Achse der Linse nicht schneiden kann, sondern sich von derselben entfernen muß. Denn es sei Fig. 22 A B eine biconcave Linse, C und C¹ seien ihre Krümmungsmittelpunkte, C C¹ ihre Achse und D E ein nahe zur Achse parallel mit derselben einfallender Lichtstrahl. In E erleidet derselbe beim Eintritt ins Glas eine Brechung zum Einfallslothe, denn ∢ G E H < ∢ C E D; in G beim Uebergange in Luft wird er vom Einfallslothe nach der Richtung G L abgelenkt, denn ∢ L G C¹ muß größer sein, als ∢ E G K. Da dieser Lichtstrahl schon von E aus sich von der Achse entfernt, so muß dies in noch viel auffälligerem Grade von G aus geschehen, so daß er nur rückwärts verlängert in F die Achse zu schneiden vermag. So hat denn die concave Linse oder das Zerstreuungsglas (auch noch, wie sich leicht nachweisen läßt, von anderer, als von der eben behandelten Form) keinen wirklichen Brennpunkt, sondern einen eingebildeten (F in Fig. 22), welcher auf derselben Seite der Linse liegt, von welcher die Lichtstrahlen kommen.

Es ist nicht schwer einzusehen, daß, wenn umgekehrt der Brennpunkt F einer Linse ein leuchtender Punkt ist, alle von demselben ausgehenden und nahe zur Achse die Linse durchdringenden Lichtstrahlen die Linse dann parallel zur Achse verlassen müssen. Denken wir uns dagegen den leuchtenden Punkt in der Achse weiter von der Linse entfernt, so werden die Strahlen, welche durch die Linse gehen, nicht mehr parallel austreten können, sondern zur Achse convergiren, und zwar in einem Punkte derselben sich schneiden, der der Linse um so näher rückt, je weiter der leuchtende

Fig. 22.



Punkt sich von der Linse entfernt. Dieser Punkt, in welchem sich die Strahlen eines leuchtenden Punktes in der Achse nach ihrem Durchgange durch die Linse vereinigen, heißt der Vereinigungspunkt, und seine Entfernung von der Linse eben seine Vereinigungsweite. Befindet sich hingegen der leuchtende Punkt zwischen dem Brennpunkte und der Linse, so müssen die Strahlen, wie sich stets an einer Figur leicht nachweisen läßt, nach ihrem Austritte aus der Linse divergiren.

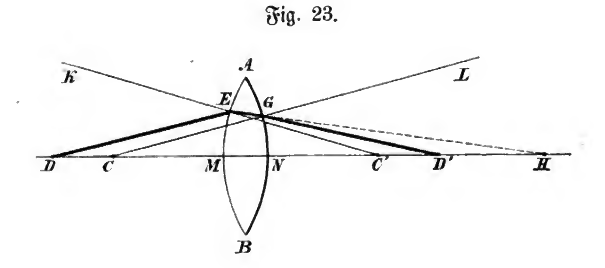
Nach dem, was bereits früher (S. 12) über die Construction des gebrochenen Strahles bei gegebenem Brechungsinder gesagt worden, wird es Niemandem schwer fallen, den

Gang eines Lichtstrahles durch eine gegebene Linse mit gegebenem Brechungsindex mittelst genauer Construction ausfindig zu machen.

Auf dem Wege der Rechnung läßt sich der Gang eines Lichtstrahles durch eine biconvexe Linse auf folgende Weise bestimmen.

Es sei A B (Fig. 23) eine biconvexe Linse, deren Krümmungsmittelpunkte C und C^1 heißen mögen, D sei ein leuchtender Punkt in der Achse der Linse und D E ein von

Fig. 23.



demselben auf die Linse fallender Lichtstrahl. Bei seinem Uebergange bei E in Glas wird derselbe zum Einfallslothe etwa wie E H gebrochen; und bei seinem Austritte bei G in Luft wieder vom Einfallslothe etwa in der Richtung $G D^1$.

Es ist nun $\sphericalangle$ $D E C^1$ der Nebenwinkel des Einfallswinkels D E K und $H E C^1$ der Brechungswinkel für den Punkt E; ferner $\sphericalangle$ H G C der Nebenwinkel des Einfallswinkels E G C und $\sphericalangle$ $D^1 G C$ der Nebenwinkel des Brechungswinkels $L G D^1$; mithin ist, wenn der Brechungsindex durch n ausgedrückt wird:

1) $\sin D E C^1 = n \sin H E C^1$,

weil $\sin D E K = n \sin H E C^1$ zufolge des Brechungs-

gesetzes, und da der Sinus eines Winkels gleich dem Sinus seines Nebenwinkels, $\sin DEK = \sin DEC^1$.

2) $\sin D^1GC = n \sin HGC.$

Nun verhält sich aber:

3) $\sin DEC^1 : \sin EC^1D = DC^1 : DE$

4) $\sin HEC^1 : \sin EC^1D = C^1H : EH$

denn $\sin EC^1D = \sin EC^1H$

5) $\sin D^1GC : \sin GCD^1 = CD^1 : GD^1$

6) $\sin HGC : \sin GCD^1 = CH : GH$

denn $\sin GCD^1 = \sin GCH.$

Setzt man in Nr. 3) statt $\sin DEC^1$ den Werth $n \sin HEC^1$ in Nr. 1), so geht Nr. 3) über in

7) $n \sin HEC^1 : \sin EC^1D = DC^1 : DE$

oder 8) $$\frac{n \sin HEC^1}{\sin EC^1D} = \frac{DC^1}{DE}.$$

Nach Nr. 4) ist:

9) $$\frac{\sin HEC^1}{\sin EC^1D} = \frac{C^1H}{EH}$$

mithin aus Nr. 8) und 9)

$$\frac{DC^1}{DE} = \frac{nC^1H}{EH}$$

oder:

10) $DC^1 \cdot EH = n \cdot C^1H \cdot DE.$

Substituirt man ferner in Nr. 5) statt $\sin D^1GC$ den Werth $n \cdot \sin HGC$ in Nr. 2), so geht Nr. 5 über in

11) $n \sin HGC : \sin GCD^1 = CD^1 : GD^1$

oder:

12) $$\frac{n \sin HGC}{\sin GCD^1} = \frac{CD^1}{GD^1}$$

Nach 6) ist:

13) $$\frac{\sin HGC}{\sin GCD^1} = \frac{CH}{GH}$$

mithin aus 12) und 13)

14) $$\frac{CD^1}{GD^1} = \frac{nCH}{GH}$$

oder:

15) $$CD^1 \cdot GH = n \cdot CH \cdot GD^1.$$

Setzt man den Krümmungshalbmesser $CG = R$ und $C^1E = r$; ferner $DM = a$, $NH = c$ und $ND^1 = \alpha$ und nimmt man die Entfernung des Punktes E von der Achse nur gering, sowie die Dicke MN der Linse so klein an, daß sie in der Rechnung vernachlässigt werden kann, so gehen die Gleichungen 10) und 15) über in:

16) $$(a + r)\,c = n \cdot a\,(c - r)$$

und

17) $$(\alpha + R)\,c = n \cdot \alpha\,(c + R).$$

Aus 16) und 17) folgt:

18) $$c = \frac{n\,a\,r}{n\,a - a - r} = \frac{n\,\alpha\,R}{\alpha + R - n\,\alpha}$$

daher:

19) $$a\,r\,[R - \alpha\,(n - 1)] = \alpha\,R\,[a\,(n - 1) - r].$$

Dividirt man 19) durch $R\,r\,a\,\alpha$, so erhält man:

20) $$\frac{1}{\alpha} - \frac{n-1}{R} = \frac{n-1}{r} - \frac{1}{a}$$

oder:

21) $$\frac{1}{\alpha} = (n - 1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right) - \frac{1}{a}.$$

Setzt man $a = \infty$, d. h. nimmt man den Strahl DE parallel zur Achse an, so muß ND^1 oder α (nach S. 34)

der Brennweite p der Linse gleich werden und 21) übergehen in:

$$22)\qquad \frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right).$$

Die Gleichung 22) läßt sich auch auf die Zerstreuungslinse anwenden, wenn man die Werthe R, r und p negativ annimmt.

Die Gleichung 21) bildet die dioptrische Grundformel, welche alle Bedingungen enthält, die sich auf den Gang der Strahlen durch irgend welche der genannten Linsenarten beziehen. Sie wird noch einfacher, wenn man den um 1 verminderten Brechungsexponenten n, d. i. $n - 1 = m$ setzt, so daß sie übergeht in:

$$23)\qquad \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = m\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right).$$

Aus 23) ergiebt sich für die Vereinigungsweite einer biconvexen Linse:

$$24)\qquad \alpha = \frac{a R r}{a m (R + r) - R r}$$

wobei man sich nochmals erinnern möge, daß, wie oben schon angenommen, a die Entfernung des leuchtenden Punktes von der Linse, α die Vereinigungsweite seiner durch die Linse gegangenen Strahlen und R und r die Krümmungsradien der Linse bedeuten.

Aus 22) ergiebt sich für parallel mit der Achse einfallende Strahlen:

$$25)\qquad p = \frac{R r}{m (R + r)}$$

oder, wenn die biconvexe Linse gleichseitig, also $R = r$ ist:

$$26)\qquad p = \frac{r}{2 m}$$

1. Beispiel. Der Brechungsindex des Glases, aus welchem eine Linse geschliffen ist, betrage 1,604; der Halbmesser der einen Fläche sei = 10,5 Cm., der der anderen Fläche dieser Linse = 8,36 Cm. und die Entfernung eines leuchtenden Punktes von der Linse 120 Mtr. Es soll die Entfernung des Punktes von der Linse gefunden werden, in welchem sich die von dem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse schneiden, oder mit anderen Worten: es soll ihre Vereinigungsweite oder die Entfernung des Bildes jenes leuchtenden Punktes von der Linse bestimmt werden:

Aus 24) ergiebt sich, wenn man $a = 120$ Mtr. = = 12000 Cm., $m = 1{,}604 - 1 = 0{,}604$; $R = 10{,}5$ Cm. und $r = 8{,}36$ Cm. setzt:

$$\alpha = \frac{12000 \cdot 10{,}5 \cdot 8{,}36}{12000 \cdot 0{,}604\,(10{,}5 + 8{,}36) - 10{,}5 \cdot 8{,}36}$$

$$= 7{,}7107 \text{ Cm.}$$

2. Beispiel. Es seien die durch eine Linse gehenden Lichtstrahlen zur Achse derselben parallel, die übrigen Verhältnisse derselben aber gleich den in dem vorigen Beispiele angegebenen; man soll die Brennweite finden.

Nach 25) folgt, daß

$$p = \frac{10{,}5 \cdot 8{,}36}{0{,}604 \cdot 18{,}86}$$

$$= 7{,}7057 \text{ Cm.}$$

Vergleicht man die Resultate von den Beispielen 1) und 2), so findet man den Unterschied zwischen der Vereinigungsweite und der Brennweite, also:

$$\alpha - p = 7{,}7107 - 7{,}7057 = 0{,}005 \text{ Cm.}$$

$$= 0{,}05 \text{ Mm.}$$

oder gleich dem 20. Theil eines Millimeters, ein Beweis dafür, wie nahe die Vereinigungsweite und die Brennweite

einer Linse zusammenfallen für Strahlen, die parallel mit der Achse und für solche, welche von einem weit gelegenen leuchtenden Punkte aus durch diese Linse gehen.

Will man nun die Verhältnisse für den Durchgang der Strahlen durch eine planconvexe Linse kennen lernen, so hat man in der Formel 23) den Halbmesser $R = \infty$ zu setzen; es wird dann $\frac{1}{R} = o$ und 23) geht über in:

27) $$\alpha = \frac{a\,r}{m\,a - r}$$

Für parallel einfallende Strahlen wird $a = \infty$ und 23) geht über in:

28) $$p = \frac{r}{m}$$

Bei einer concav-convexen Linse, oder einem sogenannten Meniscus ist der größere Krümmungshalbmesser der hohlen Fläche zugehörig, also negativ zu nehmen. Setzt man daher in 23) den Halbmesser R negativ, so erhält man

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = m\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)$$

oder:

29) $$\alpha = \frac{a\,R\,r}{a\,m\,(R - r) - R\,r}$$

Für parallele Strahlen wird $a = \infty$, daher

30) $$p = \frac{R\,r}{m\,(R - r)}$$

Aus 23) geht, wenn man auf jeder Seite die beiden Brüche addirt, hervor, daß:

$$\frac{a + \alpha}{a\,\alpha} = \frac{m\,(R + r)}{R\,r}$$

daher umgekehrt:

$$\frac{a\,\alpha}{a+\alpha} = \frac{R\,r}{m\,(R+r)}$$

Da nun nach 25) die rechte Seite hier $= p$, so muß auch:

$$31) \qquad \frac{a\,\alpha}{a+\alpha} = p$$

sein, d. h. man findet die Brennweite einer convexen Linse, wenn der Abstand eines leuchtenden Punktes und die dazu gehörige Vereinigungsweite von derselben gegeben ist, indem man das Product dieser Werthe durch ihre Summe dividirt.

Aus 31) folgt wieder der Werth für die Vereinigungsweite einer Convexlinse.

$$32) \qquad \alpha = \frac{a\,p}{a-p}$$

Verfolgt man nun mit Hilfe von 32) den Gang der Lichtstrahlen, indem man a alle möglichen Lagen in der Achse annehmen läßt, so wird man unter anderem auch finden, daß, wenn der leuchtende Punkt zwischen dem Brennpunkte und der Linse zu liegen kommt, also a kleiner wird als p, α negativ werden muß, d. h. die von dem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse divergiren müssen. Und in der That, setzt man in 32) $a < p$, so muß der Nenner $a - p$, folglich der ganze Bruch, also α negativ werden. Der Ausdruck 32) ist also sehr geeignet, den Gang der Strahlen aufzufinden, welche von einem gegebenen leuchtenden Punkte in der Achse einer Linse aus- und durch letztere hindurchgehen.

Aus dem Obigen geht aber auch zugleich hervor, daß, wenn die Lichtstrahlen convergent auf eine convexe Linse fallen, d. h. wenn a negativ genommen wird, der Vereini-

gungspunkt zwischen den Brennpunkt und die Linse zu liegen kommt.

Will man daher die Vereinigungsweite für convergent eintretende Lichtstrahlen einer Linse bestimmen, so braucht man blos in den bereits oben entwickelten Formeln statt a den Werth —a zu setzen.

Es geht dann z. B. für eine biconvexe Linse Nr. 24) über in:

33) $$\alpha = \frac{a R r}{a m (R + r) + R r}$$

Die Vereinigungsweite für eine Convexlinse bei convergent einfallenden Strahlen wird daher nach 32) sein müssen:

34) $$\alpha = \frac{-a p}{-a - p} = \frac{a p}{a + p}$$

Es fällt nun auch nicht schwer, die Formeln für concave Linsen aufzustellen; man braucht nur in den bereits behandelten Formeln den Halbmessern die ihnen zukommenden, der jedesmaligen Gestalt der Linse entsprechenden Vorzeichen zu geben.

Für eine doppeltconcave Linse wird daher, wenn man beide Halbmesser negativ setzt, 24) übergehen in:

35) $$\alpha = \frac{a R r}{-a m (R + r) - R r}$$

und für parallele Strahlen 25) in

36) $$p = \frac{R r}{-m (R + r)}$$

oder

$$-p = \frac{R r}{m (R + r)}$$

Für Strahlen, welche convergirend auf eine biconcave Linse fallen, wird a wieder negativ, daher

37) $$\alpha = \frac{-aRr}{am(R+r) - Rr}$$

Für eine planconcave Linse geht 27) respective 35) bei divergirenden Strahlen über in

38) $$\alpha = -\frac{ar}{am+r}$$

bei parallelen Strahlen wegen $a = \infty$, in:

39) $$\alpha = -\frac{r}{m}$$

bei convergirenden Strahlen wegen des negativen a

40) $$\alpha = \frac{-ar}{am-r}$$

Für eine convex-concave Linse, wo der große Kugelhalbmesser, also R positiv, und der kleine Halbmesser r sowie α negativ zu nehmen ist, geht bei divergirenden Strahlen 35) über in:

41) $$-\alpha = \frac{aRr}{am(R-r) - Rr}$$

bei parallelen Strahlen:

42) $$-p = \frac{Rr}{m(r-R)}$$

bei convergirenden Strahlen:

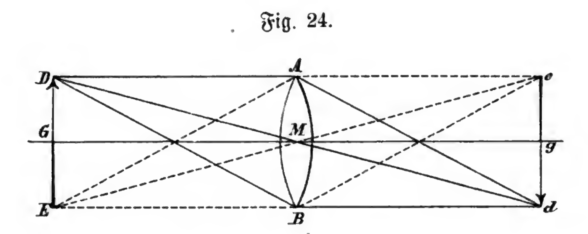
43) $$\alpha = \frac{aRr}{am(r-R) + Rr}$$

Wir haben bis jetzt nur die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen und ihren Vereinigungspunkt oder, was dasselbe ist, das Bild dieses leuchtenden, durch eine Linse hervorgebrachten Punktes betrachtet. Nun haben wir aber jeden leuchtenden oder beleuchteten Gegenstand als

einen Complex einer großen Menge leuchtender Punkte uns vorzustellen, von welchen jeder einen Theil seiner Lichtstrahlen durch die Linse sendet, die sich wieder in einem Punkte vereinigen. Die Summe aller dieser als Bilder der einzelnen Punkte des Gegenstandes giebt nun das Bild desselben.

Es sei in Fig. 24 D E ein leuchtender Gegenstand vor der Linse A B. Der Punkt D sendet unter anderen drei Strahlen aus, von welchen der mittelste, weil er durch die Mitte M der Linse geht, als sogenannter Hauptstrahl,

Fig. 24.



ungebrochen bleibt. Alle drei Strahlen schneiden sich hinter der Linse in dem Punkte d. In gleicher Weise geben die drei von E ausgehenden Strahlen bei ihrem Durchgange durch die Linse das Bild dieses Punktes e, so daß e d die Größe des Bildes des Gegenstandes D E vorstellt. Aus der Figur geht hervor, daß $DE : de = GM : Mg$. Da wir die Linsendicke als unbedeutend ansehen, so kann G M als die Entfernung des leuchtenden Punktes $G = a$, und M g als seine Vereinigungsmitte $= \alpha$ gesetzt werden, so daß $DE : de = a : \alpha$, mithin

$$de = \frac{\alpha}{a} . DE.$$

Es ist hier hervorzuheben, daß, wenn DE eine gerade Linie ist, ed nur dann eine gerade Linie sein kann, wenn der Winkel DME sehr klein ist. Wird dagegen dieser Winkel größer, so wird das Bild ed krumm, und zwar mit den Endpunkten e und d nach der Linse zugekehrt.

Ist die Entfernung eines leuchtenden Objectes unendlich groß, sind daher die von ihm ausgehenden Strahlen als parallel anzunehmen, so muß statt der wirklichen Größe des Objectes der $\sphericalangle DME$ in Rechnung gezogen werden, unter welchem dasselbe von M aus erscheint, sobald die Achse der Linse durch seinen Mittelpunkt geht. Der Werth ed ist dann sehr klein, und kann deshalb als der Bogen des Winkels eMd oder DME, also als Maß des Winkels eMd angesehen werden; er ist demnach der Distanz $MG = \alpha$ proportional, und drückt man $\sphericalangle eMd$ in Minuten aus, so muß dies auch mit α geschehen, wenn man die Beziehung beider Größen angeben will. Da nun derjenige Bogen eines Kreises, welcher eben so lang als der Halbmesser desselben ist, rund 3438 Minuten beträgt, so verhält sich, wenn $\sphericalangle DME = \psi$:

$$\alpha : ed = 3438 : \psi,$$

so daß

$$ed = \frac{\alpha \cdot \psi}{3438} \tag{44}$$

3. Beispiel. Angenommen, die Brennweite einer Linse betrage 60 Cm., und es soll die Größe des Sonnenbildes im Brennpunkte der Linse berechnet werden. Da der scheinbare Durchmesser der Sonne $= \psi = 30$ Minuten, $\alpha = p = 60$ Cm., so ist der Durchmesser des Sonnenbildes

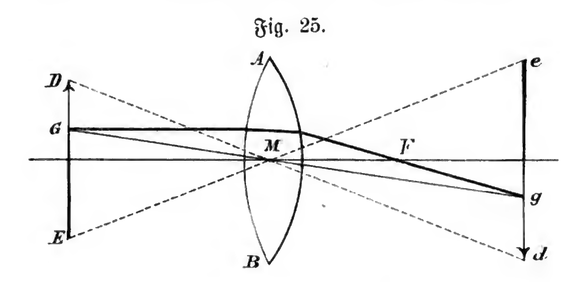
$$ed = \frac{60 \cdot 30}{3438} = 0{,}5235 \text{ Cm.} = 5{,}235 \text{ Mm.}$$

Aus 44) geht übrigens hervor, daß, wenn $\alpha = p$, der Durchmesser des Bildes mit der Größe der Brennweite wächst.

Es ist nicht schwer, die Lage und Größe eines Bildes, welches eine Linse von einem Objecte erzeugt, durch Construction zu finden; man braucht sich nur zu erinnern, daß ein durch die Mitte der Linse gehender Strahl ungebrochen bleibt, ein mit der Achse parallel einfallender Strahl stets durch den Brennpunkt der Linse gehen muß.

Es sei z. B. Fig. 25 A B eine Convexlinse, D E ein

Fig. 25.



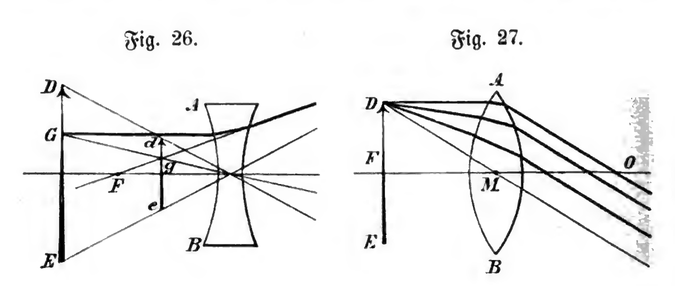
vor derselben befindlicher senkrecht zur Achse stehender Pfeil. Irgend ein Punkt desselben, z. B. G sende einen Lichtstrahl parallel zur Achse durch die Linse; dieser Lichtstrahl nimmt seinen Weg durch den Brennpunkt F, ein zweiter von G aus durch M hindurchgehender Lichtstrahl (Hauptstrahl) bleibt ungebrochen, beide Lichtstrahlen schneiden sich in g und geben dort das Bild des Punktes G. Zieht man nun durch g eine Senkrechte zur Achse und außerdem die Hauptstrahlen D d und E e, so schneiden dieselben diese Senkrechte in d und e und bestimmen somit die Größe des Bildes e d.

Es sei ferner Fig. 26 A B eine Concavlinse, F ein Brennpunkt derselben und D E wieder ein Gegenstand wie

oben. Der vom Punkte G ausgehende, parallel zur Achse einfallende Lichtstrahl geht rückwärts verlängert durch F, der durch M gehende bleibt ungebrochen, beide schneiden sich in g; zieht man durch g eine Senkrechte zur Achse und außerdem die Hauptstrahlen D M und E M, so bestimmt sich Punkt d und e, mithin das ganze Bild d e.

Denkt man sich ein Object D E (Fig. 27) in dem Brennpunkte F einer Linse A B befindlich, und durch diese Linse betrachtet, so treten die von diesem Gegenstande kommenden

Fig. 26. Fig. 27.



Strahlen parallel in das Auge und dieses erblickt D E von O aus unter demselben Winkel, unter welchem es ohne Linse das Object von M aus sehen würde, denn ∢ A O M = ∢ D M F.

Da nun das Auge nur die scheinbare Größe eines Gegenstandes, und zwar durch die Größe des Sehwinkels, welchen die äußersten Strahlen des ersteren im Auge bilden, messen kann, die Größe dieses Sehwinkels also mit der Zu- und Abnahme der Entfernung fällt und wächst, so muß (weil ein gesundes Auge in 25 Cm. Entfernung die naheliegenden Objecte am deutlichsten sieht) das Object D E so vielmal größer (als in 25 Cm. Entfernung) erscheinen, als die Entfernung F M in der deutlichen Sehweite ent-

halten ist. Setzt man z. B. die Brennweite einer Linse = 5 Mm., so ist die damit zu erzielende Vergrößerung

$$v = \frac{25 \cdot 10}{5} = 50.$$

Von den Unvollkommenheiten des durch eine Linse hervorgerufenen Bildes.

Da die Linsen von kugelförmigen Flächen begrenzt sind, die keine parallele Lage zu einander haben, so leiden die durch dieselben erzeugten Bilder an einem doppelten Fehler, und zwar an einer Gestaltsverzerrung und an einer farbigen, das Sehen störenden Umsäumung ihrer Contouren.

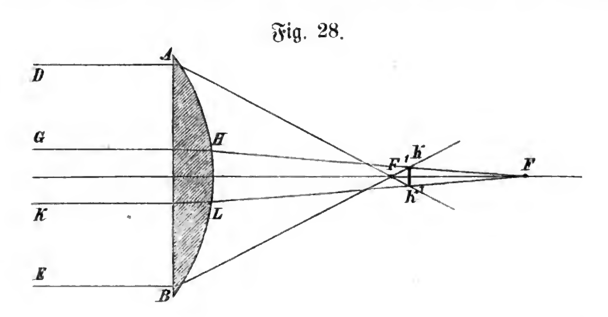
Eine eingehendere Betrachtung wird dies klar machen.

Es sei Fig. 28 A B eine planconvexe Linse; D A und E B seien nahe am Rande der Linse, G H und K L nahe an der Achse derselben, zu letzterer parallel einfallende Lichtstrahlen. Zufolge der kugelförmigen Krümmung der Fläche A H L B werden die Randstrahlen D A und E B die Achse bereits schon in F^1, die nach der Achse zu gelegenen Strahlen G H und K L dieselbe erst weiterhin in F scheiden, während die Durchschnittspunkte aller übrigen Strahlen in der Achse zwischen F und F^1 zu liegen kommen. Diesen Fehler, daß nicht sämmtliche Strahlen, welche die Linse parallel zur Achse passiren, sich genau in einem einzigen Punkte schneiden, nennt man die Abweichung wegen der Kugelgestalt, oder die sphärische Abweichung, und den Abstand $F^1 F$ die Größe dieser Abweichung.

Die nach dem Rande und nach der Achse zu gelegenen Strahlen schneiden sich in einem durch K K^1 im Durch-

schnitte angedeuteten Kreise, aber auch noch alle übrigen durch die Linse gehenden Parallelstrahlen. Da dieser Kreis die einzige Stelle in dem Raum zwischen F^1 und F ist, welche von sämmtlichen aus der Linse austretenden Strahlen durchkreuzt wird, so ist in demselben auch das hellste und deutlichste Bild enthalten. Man nennt diesen Kreis deshalb den **Abweichungskreis**. Er ist um so kleiner, je kleiner F^1F, je geringer die sphärische Abweichung der Linse ist. Schon ohne Rechnung, nur durch Construction, wie durchs

Fig. 28.



Experiment, läßt sich das Vorhandensein der sphärischen Abweichung einer Linse nachweisen.

Daß durch die sphärische Abweichung die Deutlichkeit und Schärfe eines Linsenbildes beeinträchtigt werden muß, ist selbstverständlich.

Aus Fig. 28 geht hervor, daß die Oeffnung und die Brennweite der Linse die sphärische Abweichung beeinflussen müssen, dergestalt, daß mit der Zunahme der Oeffnung bei derselben Brennweite, oder mit der Abnahme der Brennweite bei gleicher Oeffnung, die sphärische Abweichung größer wird. Genauer wird dies durch folgendes Gesetz ausgedrückt:

Die Größen der sphärischen Abweichungen in den Achsen zweier Linsen von gleicher Brennweite, gleichen Krümmungshalbmessern und gleicher Glasart verhalten sich wie die Quadrate ihrer Oeffnungen, oder umgekehrt wie die Brennweiten, wenn bei ein und derselben Glasart die Oeffnungen der Linsen gleich sind.

Es sei z. B. die Oeffnung einer Linse = e, ihre Brennweite = p, und es sollte die Brennweite p_1 gefunden werden für eine Linse aus demselben Glase mit der Oeffnung e_1 ohne daß die sphärische Abweichung geändert wird. Aus: $e^2 : e_1{}^2 = p_1 : p$ folgt, daß

$$p_1 = \frac{p\,e^2}{e_1{}^2}$$

Es sei hier noch besonders hervorgehoben, daß dasselbe Gesetz auch für concave Linsen gilt, da die Abweichung dort dieselbe ist, nur im entgegengesetzten Sinne genommen werden muß.

Es wurde vorhin der Krümmungshalbmesser in dem Gesetze von der sphärischen Abweichung gedacht, und zwar deshalb, weil dieselben die Größe der Abweichung bis zu einer gewissen Grenze beeinflussen, und giebt es gewisse Verhältnisse, bei welchen die sphärischen Abweichungen bis auf ein gewisses Minimum zurückgehen.

Nennt man die beiden Krümmungshalbmesser einer Linse R und r, und n den Brechungsindex des Glases, aus dem sie gefertigt, so wird, wenn auf sie die Gleichung

$$45)\qquad \frac{r}{R} = \frac{4 - n(2n - 1)}{n(2n + 1)}$$

sich anwenden läßt, diese Linse für parallele Strahlen die kleinste Abweichung haben.

4. Beispiel. Der Brechungsindex des Glases sei 1,604, so ist das Verhältniß:

$$\frac{r}{R} = \frac{4 - 3,5416}{6,7496} = \frac{0,4584}{6,7496} = \frac{1}{14} \text{ annähernd.}$$

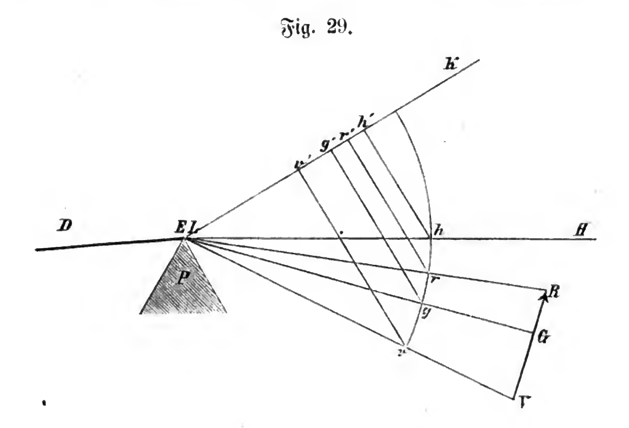
Diese Linse wird demnach die kleinste Abweichung haben, wenn der Halbmesser ihrer hinteren Fläche 14mal größer ist, als derjenige der vorderen. Man nennt diese Linse eine Linse von der besten Form. Aus 45) läßt sich leicht entwickeln, daß eine Planconvex- oder eine Planconcavlinse der Linse von der besten Form am nächsten kommt, d. h. also neben dieser die geringste sphärische Abweichung besitzt, wenn ihre gekrümmte Fläche dem Objecte zugekehrt, dagegen die größte Abweichung zeigt, wenn ihre Planseite dem Objecte zugewendet ist. —

Wir haben schon früher (S. 19) gesehen, daß, wenn ein weißer Lichtstrahl durch ein Glasstück (Prisma) mit zwei nicht parallelen Flächen geht, er eine Zerstreuung (Dispersion) in die einzelnen prismatischen Farben erleidet, aus welchen er besteht. Es ist der Grund dieser Zerlegung des weißen Lichtes lediglich in dem Umstande zu suchen, daß die einzelnen farbigen Lichtstrahlen eine verschiedene Brechbarkeit besitzen, also jeder Lichtstrahl in ein und demselben Mittel einen anderen Brechungswinkel aufweist.

Es sei Fig. 29 P der brechende Winkel eines Prismas, DE ein Lichtstrahl, welcher in das Prisma übergeht, und zwar in unmittelbarer Nähe der brechenden Kante. Beim Uebergang in das Prisma beginnt bereits (also von E an) die Spaltung des Strahles in seine farbigen Strahlen, da aber wegen ihrer großen Nähe an der Kante des Prismas ihr Weg durch dasselbe äußerst kurz angenommen werden muß, so kann man ohne Nachtheil für die folgende Betrachtung annehmen, als ob sie in einem fast mit E zusammen-

fallenden Punkte L das Prisma wieder verließen, d. h. man kann L als den Punkt betrachten, von welchem aus sich die Farbenstrahlen in den Richtungen L R, L G, L V u. s. w. in der Luft zerstreuen. Ist nun L K das Einfallsloth an der Austrittsstelle der Lichtstrahlen, L R die Richtung der rothen, L V die Richtung der violetten und L G die der gelben Strahlen, K L H der (eigentlich im

Fig. 29.



Prisma liegende) allen farbigen Strahlen gemeinschaftliche Einfallswinkel, K L R der Brechungswinkel der rothen, K L G der der gelben, und K L V der der violetten Strahlen; sind ferner h h¹, r r¹, g g¹, v v¹ Lothe auf L K, und setzt man L K = 1, so ist h h¹ der Sinus des Einfallswinkels der rothen, gelben und violetten Strahlen, r r¹ der Sinus des Brechungswinkels der rothen, g g¹ der Sinus des Brechungswinkels der gelben, und v v¹ der Sinus des Brechungswinkels der violetten Strahlen. Der Winkel G L K heißt der **mittlere Brechungswinkel** und der Winkel

RLV heißt der **Zerstreuungswinkel**. Der **Zerstreuungswinkel ist stets dem mittleren Brechungswinkel bei ein und derselben Glasart proportional.**

Bei verschiedenen Glasarten gilt aber dieses Gesetz nicht mehr, denn man kann wohl zwei Prismen aus verschiedenen Glasmassen so anfertigen, daß der mittlere Brechungswinkel bei beiden gleich wird, ohne daß die Zerstreuungswinkel gleich zu werden brauchen.

Jeder einfache farbige Strahl hat der obigen Auseinandersetzung zufolge seinen eigenen Brechungsindex. So ist der Brechungsindex für die rothen Strahlen $= \frac{r\,r^1}{h\,h^1}$ (Fig. 29), für die violetten Strahlen $= \frac{v\,v^1}{h\,h^1}$; für die mittleren gelben Strahlen $= \frac{g\,g^1}{h\,h^1}$.

Das Verhältniß der Größe des Zerstreuungswinkels zu der des mittleren Brechungswinkels giebt die Größe der Zerstreuung eines bestimmten Glases.

Das **Zerstreuungsverhältniß** oder **Zerstreuungsvermögen** ω einer bestimmten Glasart drückt man durch diejenige Zahl aus, welche sich ergiebt, wenn man von dem Brechungsindex n_V der violetten Strahlen denjenigen der rothen Strahlen n_R abzieht und den Unterschied durch den um 1 verminderten Brechungsindex n_G der mittleren Strahlen dividirt, wenn man also rechnet:

46) $$\omega = \frac{n_V - n_R}{n_G - 1}.$$

Das Verhältniß der **Zerstreuungsvermögen** zweier verschiedener Glasarten nennt man das **Verhältniß**

der Zerstreuungskräfte oder das Zerstreuungsverhältniß der beiden Gläser.

Sind also ω und ω^1 die Zerstreuungsvermögen zweier Gläser, so ist $\omega : \omega^1$ das Verhältniß ihrer Zerstreuungskräfte.

Wenn man also sagt: das Zerstreuungsverhältniß einer bestimmten Crown- und Flintglassorte sei 0,785, so heißt das: die zerstreuende Kraft des Flintglases verhält sich zu der des Crownglases wie:

$$1 : 0{,}785 \left(= 1 : \frac{\omega}{\omega^1}\right).$$

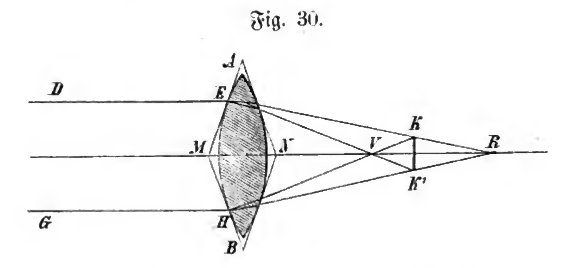
Setzt man in 46) $n_V - n_R = \delta n$, und $n_G - 1 = n - 1$, weil n_G oder n_D ($_D$ die Fraunhofer'sche Linie im Gelb des Spectrums) allgemein als der mittlere Brechungsindex angesehen wird, so geht 46) über in:

$$47) \qquad \omega = \frac{\delta n}{n - 1}.$$

Um die Zerstreuungserscheinungen an den Linsen kennen zu lernen, sei in Fig. 30 A B eine Convexlinse, auf welche die Strahlen D E und G H auftreffen. Beide spalten sich so, als ob sie durch die prismatischen, an den Ein- und Austrittspunkten tangirenden Flächen A M und A N, respective B M und B N gingen, demnach so, daß die violetten Strahlen, als die stärker gebrochenen, die Achse in V und die rothen Strahlen, als die am schwächsten gebrochenen, die Achse in R durchkreuzen. Diese Abweichung V R in der Achse nennt man die Größ der Längenabweichung wegen der Farbenzerstreuung oder die Größe der chromatischen Längenabweichung. Die Linie K K¹ stellt den Durchmesser des Abweichungskreises vor.

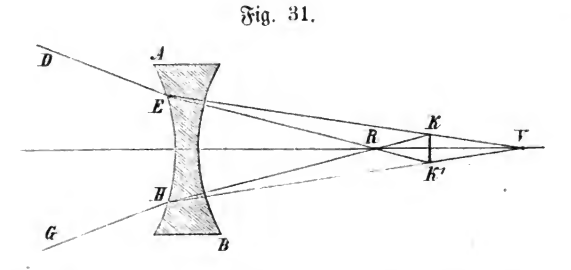
Vergleicht man die chromatische Abweichung mit der sphärischen derselben Linse, so stellt sich die erstere weit größer heraus.

Fig. 30.



Die Hohllinse muß natürlich dieselben Erscheinungen, nur in umgekehrter Ordnung, zeigen, so daß der Vereini-

Fig. 31.



gungspunkt der rothen Strahlen der Linse näher liegt, als der der violetten Strahlen, wie Fig. 31 erläutert.

Bezeichnet wieder p die Brennweite einer Linse, n den Brechungsindex ihres Glases, so ist dann ihre chromatische Längenabweichung:

(Fig. 30) 48) $$V R = p \cdot \frac{\delta n}{n - 1}$$

und, wenn die halbe Oeffnung der Linse = e gesetzt wird, der Durchmesser des chromatischen Abweichungskreises

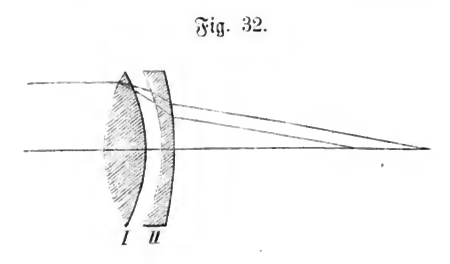
(Fig. 30) 49) $$K K^1 = \frac{\delta n}{n - 1} \cdot e.$$

Von der Construction einer achromatischen Linse.

Vergleicht man die beiden Figuren 30 und 31 mit einander hinsichtlich des Ganges der gebrochenen Farbenstrahlen, so wird man begreifen, daß, wenn man eine Concavlinse mit einer Convexlinse so vereinigt, wie Fig. 32 andeutet, die Zerstreuung, welche durch die Convexlinse hervorgerufen worden ist, unter Umständen durch die dahinter stehende Concavlinse wieder aufgehoben werden kann. Denn der von der Convexlinse ausgesandte, ihre Achse in größerer Entfernung durchschneidende rothe Lichtstrahl wird von der Concavlinse wieder um so viel näher gebrochen, als umgekehrt der von der Convexlinse näher gebrochene violette Lichtstrahl von der Concavlinse weiter gebrochen wird, so daß beide Lichtstrahlen, sowie auch annähernd die dazwischen liegenden aus beiden Linsen in paralleler Richtung austreten, mithin wieder als weißes Licht erscheinen müssen. Eine weitere Ueberlegung sagt uns aber, daß der letztere Fall bei Linsen aus einem und demselben Glase nur möglich ist, wenn dieselben gleiche Brennweite besitzen, daß aber dann die parallel austretenden Strahlen, in welche ein parallel mit der Achse eintretender weißer Strahl gespalten wird, nicht die Achse schneiden können, sondern parallel zur Achse bleiben müssen, denn bei gleichen Gläsern stehen die

Werthe der Zerstreuung und Brechung auch in gleichem Verhältnisse. Sollen also die gebrochenen Strahlen die Achse schneiden, in einer Weise, wie es Fig. 32 klar macht, so dürfen beide Linsen nicht aus einer und derselben Glasmasse bestehen, sondern aus Glasmassen, die für beide Linsen ein von einander abweichendes Zerstreuungsvermögen aufweisen. Angenommen, die Linse I (Fig. 32) sei eine Convexlinse aus dem sogenannten Crownglas und Linse II eine Concavlinse aus dem das Licht stärker brechenden und zerstreuenden Flintglas. Haben die Linsen gleiche Krümmungshalbmesser,

Fig. 32.



so werden die aus der Convexlinse heraustretenden farbigen Strahlen von der Concavlinse wegen ihres größeren Brechungsvermögens nicht nur von der Achse der Linse abgelenkt, sondern auch wegen ihres größeren Zerstreuungsvermögens an ihrem parallelen Austritte gehindert, so daß der ursprünglich in das Linsenpaar eintretende weiße Lichtstrahl nach seinem Austritte aus demselben gefärbt bleibt. Denken wir uns aber die Krümmungshalbmesser der concaven Flintglaslinse oder einen derselben so weit vergrößert, daß ihre Zerstreuungsgröße gleich derjenigen der Crownglaslinse wird, so wird die farbige Abweichung so viel als möglich gehoben, ohne daß jedoch die Brechung des ein-

fallenden weißen Strahles (wegen des übrig bleibenden Ueberschusses an Brechung in der Concavlinse) ganz vernichtet wird, weil eben, wie schon oben bemerkt, das Zerstreuungsvermögen und Brechungsvermögen in verschiedenen Glasarten nicht in gleichem Verhältnisse steht. Ein durch ein solches Linsenpaar parallel zur Achse hindurchtretender weißer Lichtstrahl wird also die Achse des ersteren schneiden, ohne farbig zu erscheinen. Eine solche Doppellinse nennt man daher eine *achromatische Linse*.

Es ist nicht schwer einzusehen, daß die Krümmungshalbmesser (oder einer derselben) der concaven Flintglaslinse um so größer, oder die Krümmungen ihrer Flächen um so schwächer sein müssen, je größer das Zerstreuungsverhältniß des Flintglases im Vergleich zu dem des Crownglases und je geringer der Unterschied der Brechungsvermögen dieser Gläser ist, wenn der durch die achromatische Linse hindurchgegangene weiße Lichtstrahl ungefärbt hinter derselben die Achse durchschneiden soll. Man kann dies schärfer und bestimmter ausdrücken, wenn man sagt:

Eine aus Crown- und Flintglas zusammengesetzte Doppellinse ist achromatisch, wenn die Brennweiten beider Linsen sich so verhalten, wie ihr Zerstreuungsvermögen.

Der auf solche Weise erzielte Achromatismus ist aber kein durchaus vollständiger, weil nur die Vereinigung der äußersten am deutlichsten ins Auge fallenden Strahlen (das an das Orange angrenzende helle Roth und das dunkle, lebhafte Blau), nicht aber diejenige der gelben, grünen und hellblauen Strahlen dabei zu Stande kommt, so daß noch ein Rest der farbigen Abweichung übrig bleibt, welchen man mit dem Namen des *secundären Spectrums* bezeichnet. Dasselbe ist die Ursache, daß die Deutlichkeit der durch

solche Linsen hervorgerufenen Bilder mehr oder weniger beeinträchtigt wird.

Wenn das Verhältniß der zerstreuenden Kräfte aller beliebigen Paare von Strahlen für Crown- und Flintglas dasselbe wäre, wie für die lebhaft rothen und blauen Strahlen, so würden eben sämmtliche Strahlen zu weißem Lichte sich vereinigen und ein secundäres Spectrum verhüten.

In neuerer Zeit ist es der berühmten Glasschmelzerei für optische und andere wissenschaftliche Zwecke von Schott & Gen. in Jena (siehe Anhang) gelungen, nach langjährigen, mühsamen und äußerst genauen Untersuchungen und Prüfungen Glassorten herzustellen, welche die Construction achromatischer Linsen gestatten, mittelst welcher die genaue Vereinigung von drei verschiedenen Farben des Spectrums, d. h. die an die völlige Aufhebung grenzende Abschwächung des secundären Spectrums möglich ist.

Wenn man die Brennweiten der convexen Crownglas- und der concaven Flintglaslinse in demselben Verhältnisse herstellt, in welchem das der zerstreuenden Kräfte der beiden Linsen steht, so wird die daraus gebildete Doppellinse achromatisch sein.

Ist die Brennweite der Convexlinse = p, die der Concavlinse = p' und diejenige der aus diesen Linsen gebildeten Doppellinse = p'', so ist:

$$p'' = \frac{p\,p'}{p' - p} \tag{50}$$

Wenn nun das Verhältniß der zerstreuenden Kräfte des Crown- und Flintglases = $\omega : 1$ ist, so ergiebt sich:

$$p : p' = \omega : 1$$

oder:

51) $$p' = \frac{p}{\omega}$$

oder 51) in 50) substituirt:

52) $$p'' = \frac{p}{1 - \omega}$$

oder:

53) $$p = (1 - \omega)\, p''.$$

Von der Construction einer sogenannten aplanatischen Linse oder einer Linse ohne chromatische und sphärische Abweichung.

Eine achromatische Doppellinse braucht nicht ohne sphärische Abweichung zu sein. Wir haben schon früher gesehen, wie es sich mit der sphärischen Abweichung bei einfachen Linsen im Allgemeinen verhält. Bezeichnet man mit e die halbe Oeffnung einer Linse, mit n den Brechungsindex, so ist für parallele Strahlen die Längenabweichung (Fig. 28, aber für eine gleichseitige Linse):

54) $$F^1 F = \frac{e^3}{p\ (n-1)^2}\left[\frac{n}{2}\ (n-1) - \frac{1}{8\,n}\ (n-2)\right]$$

und der Durchmesser des Abweichungskreises:

55) $$K K^1 = \frac{e^3}{2\,p^2\,(n-1)^2}\ \left[\frac{n}{2}\ (n-1) - \frac{1}{8\,n}\ (n-2)\right].$$

Wenn man jedoch den Gang der Strahlen durch eine achromatische Linse einigermaßen genau verfolgt, so wird

man finden, daß die entgegengesetzt wirkenden Brechungen, durch welche die chromatische Abweichung verbessert wird, auch dazu geeignet sind, die sphärische Abweichung zu corrigiren, daß die Abweichung wegen der Kugelgestalt der einen Linse durch die Abweichung wegen der Kugelgestalt der anderen Linse sich heben läßt.

Der Mittel und Wege, Linsen herzustellen, die man aplanatisch, d. h. frei von chromatischer und sphärischer Abweichung nennen kann, sind nun verschiedene in Vorschlag gebracht worden und haben bedeutende Mathematiker auf dem Wege der Rechnung Formeln aufzufinden versucht, nach welchen die Krümmungshalbmesser solcher Linsenpaare berechnet werden müssen, wenn beide Abweichungen so viel als möglich gehoben werden sollen. Es seien hier nur die Namen Euler, Klügel, Bohnenberger, Herschel, Littrow genannt. Auf alle die verschiedenen Methoden näher eingehen zu wollen, würde zu weit führen, und möge für uns dasjenige Verfahren allein zur Richtschnur dienen, von welchem wir annehmen können, daß es im Großen und Ganzen von einem unserer bedeutendsten Optiker, von Fraunhofer, bei Anfertigung seiner bis jetzt wohl noch nicht übertroffenen Fernrohrobjective eingeschlagen worden ist.

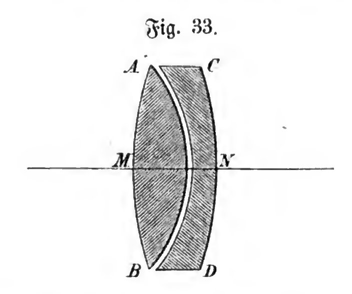
Nach genauen von Stampfer an Fraunhofer'schen Fernrohrobjectiven angestellten Messungen ist man zu der Annahme berechtigt, daß diese Objective nach den von Herschel entwickelten Formeln und Regeln hergestellt, und somit darauf berechnet sind, beide Abweichungen, sowohl für parallele, also von Gestirnen, als auch für divergente, also von irdischen Gegenständen herkommende Strahlen aufzuheben. Da die Fernrohrobjective, sowie diejenigen der Mikroskope für uns die wichtigsten aplanatischen Linsen bilden,

so werden wir im weiteren Verlaufe unserer Betrachtungen den Ausdruck Objectiv der Kürze halber dafür setzen.

Für Objective, die etwa bis zu 30 Mm. Oeffnung gehen, gewährt folgende, auf die Construction derselben anwendbare praktische Herschel'sche Regel genügende Genauigkeit:

Setzt man die Brennweite eines Objectivs, welches aplanatisch werden soll, = 1, so muß die Länge des Krümmungshalbmessers für

Fig. 33.



die vordere Fläche (A M B Fig. 33) der Crownglaslinse = 0,672 und der Krümmungshalbmesser für die hintere Fläche (C N D) der Flintglaslinse = 1,42 gemacht werden, während die Krümmungshalbmesser der beiden mittleren Flächen so zu berechnen sind, daß die Brennweiten der beiden Linsen sich wie ihre Zerstreuungskräfte verhalten.

5. Beispiel. Es soll ein Objectiv von 40 Cm. Brennweite ausgeführt werden, wenn der Brechungsindex des dazu verwendeten Crownglases = 1,53, der des Flintglases = 1,62 und das Zerstreuungsverhältniß der beiden Gläser = 0,672 ist.

Man berechne zunächst die Brennweiten beider Linsen nach den Formeln 51) und 53) für die gemeinsame Brennweite = 1. Die Brennweite der Crownglaslinse ist:

$$p = (1 - 0{,}672) \,.\, 1$$
$$= 0{,}328,$$

die Brennweite der Flintglaslinse

$$p^1 = \frac{0{,}328}{0{,}672} = 0{,}488.$$

Da nun, wenn wir die Krümmungshalbmesser eines Objectivs der Reihe nach, wie sie von der vordersten bis zur hintersten 4. Fläche folgen, mit r', r'', r''', r'''' bezeichnen, $r' = 0{,}672$*) nach der obigen Regel ist, wenn die Brennweite des Objectivs = 1 gesetzt wird, so läßt sich der Halbmesser r'' (der Convexlinse) bestimmen, nach dem aus Formel 25) hergeleiteten Ausdrucke:

$$56)\qquad r'' = \frac{m\,p\,r'}{r' - m\,p};$$

es ist, wenn $m = 0{,}53$, $p = 0{,}328$ und $r' = 0{,}672$

$$r'' = \frac{0{,}53 \,.\, 0{,}328 \,.\, 0{,}672}{0{,}672 - 0{,}53 \,.\, 0{,}328} = 0{,}2345.$$

Der Krümmungshalbmesser r'''' für die hintere Fläche der Flintglaslinse ist = 1,42 zu setzen, wenn die gemeinsame Brennweite des Objectivs = 1 ist, daher wird der Krümmungshalbmesser r''' der anderen Fläche dieser Linse gefunden nach:

$$57)\qquad r''' = \frac{m'\,p'\,r''''}{r'''' + m'\,p'}$$

oder, da $m' = 0{,}62$, $p' = 0{,}488$, $r'''' = 1{,}42$,

$$r''' = \frac{0{,}62 \,.\, 0{,}488 \,.\, 1{,}42}{1{,}42 + 0{,}62 \,.\, 0{,}488} = 0{,}2495.$$

*) Ein aus der Praxis entnommener Zufall, daß das Zerstreuungsverhältniß $\omega = r' = 0{,}672$ ist.

Aus den Zahlen 0,672; 0,2345; 0,2495 und 1,42 lassen sich die vier Krümmungshalbmesser r′, r″, r‴, r⁗ (von welchen r′, r″, r⁗ convex oder + und r‴ concav oder — zu nehmen) des Objectivs mit der Brennweite = 40 Cm. durch Multiplication mit 40 bestimmen:

Es ist r′ = 26,88 Cm.; r″ = 9,38 Cm.; r‴ = 9,98 Cm. und r⁗ = 56,8 Cm.

Nach diesen Halbmessern müssen die Schleifschalen genau hergestellt werden, in welchen die betreffenden Crown- und Flintglasstücke durch Schleifen und Poliren ihre berechnete Form erhalten sollen.

Um die Berechnung von Objectiven zu erleichtern, die noch größere Oeffnungen haben als etwa 30 Mm., hat Herschel die am Ende dieses Werkes angefügte und von Barlow erweiterte Tafel entworfen, nach welcher r′ und r⁗ des Objectivs zunächst berechnet werden können, sobald das Zerstreuungsverhältniß und der Brechungsindex der Gläser gegeben ist. Die in dieser Tafel aufgeführten Zahlen sind auf den Brechungsindex 1,524 des Crownglases und auf den Brechungsindex 1,585 des Flintglases bezogen.

Auch Littrow hat Tafeln zur bequemen Berechnung aplanatischer Objective entworfen, wobei er namentlich die Vergrößerung der Oeffnung und die Vereinfachung der Herstellung berücksichtigt hat. Allein die danach ausgeführten Objective sollen, namentlich wegen der noch vorhandenen chromatischen Abweichung durchaus nicht befriedigen.

Die Anwendung der Barlow'schen Tafel geschieht auf folgende Weise, wobei wir obiges Beispiel 5 benutzen wollen.

Bestimmung der Crownglaslinse.

1. Von dem gegebenen Brechungsindex der Crownglaslinse (1,53) ziehe man den Brechungsindex (1,524) der

Tafel ab und multiplicire mit dem Rest 0,006, der positiv oder negativ sein wird, je nachdem 1,524 größer oder kleiner als der gegebene Index ist, die in der mit Cn (Correction des Crownglasindex) überschriebenen Columne (und in der mit »Zur Bestimmung von r''' bezeichneten Abtheilung) enthaltenen Zahl 0,463, welche in horizontaler Richtung mit dem gegebenen Zerstreuungsverhältniß 0,672 steht, das in der ersten mit ω überschriebenen Columne stets zuerst aufzusuchen ist; dieses Product ist = 0,002778.

2. Ebenso zieht man von dem gegebenen Brechungsindex (1,62) denjenigen der Tafel (1,585) ab, und multiplicirt mit dem Rest 0,035 (der auch + oder — sein kann) die in gleicher Horizontalreihe in der mit Cn¹ (Correction des Spiegelglasindex) überschriebenen Columne stehende Zahl 0,203 und erhält 0,007105.

3. Die auf diese Weise gewonnenen Producte (0,002778 und 0,007105) werden addirt, und zwar mit Berücksichtigung ihrer Vorzeichen (d. h. wirklich zusammengezogen, wenn beide Vorzeichen + oder beide — sind, oder abgezogen, wenn beide Vorzeichen verschieden sind). Man erhält hier die Summe: 0,009883.

4. Den zuletzt gefundenen Werth addirt man zu der Zahl (0,67747), welche in der mit R (zu corrigirender Halbmesser) überschriebenen Columne in gleicher Horizontalreihe mit den anderen hier in Rechnung gezogenen Zahlen steht, oder man zieht diesen Werth von dieser Zahl ab, je nachdem derselbe positiv oder negativ gefunden worden ist. Hier also:

$$0{,}009883 + 0{,}67747 = 0{,}687353.$$

In unserem Beispiel ist also $r' = 0{,}687353$. Um nun den Krümmungshalbmesser r'' zu finden, wendet man wieder Formel 56) an, und findet:

$$r'' = \frac{0{,}53 \cdot 0{,}328 \cdot 0{,}687353}{0{,}687353 - 0{,}53 \cdot 0{,}328} = 0{,}2326.$$

Bestimmung der Flintglaslinse.

1. Man verfährt gerade so wie oben, nur daß man diejenige Abtheilung der Tafel nimmt, welche überschrieben ist: »Zur Bestimmung von r''''«. Dann multiplicirt man den unter 1) oben gefundenen Rest 0,006 mit dem unter Cn angeführten Werth 11,614 und erhält: 0,069684.

2. Gleichfalls multiplicirt man den oben gefundenen Werth 0,035 mit dem unter Cn^1 stehenden Betrag — 6,869, und findet: — 0,240415.

3. Diese beiden Werthe: 0,069684 und – 0,240415 geben zusammengezogen: — 0,170731.

4. Mit diesem Werthe wird der unter R stehende Halbmesser 1,30183 corrigirt und = 1,131099 gefunden.

r'''' ist also = 1,131099. Um r''' zu finden, rechnet man nach Formel 57).

$$r''' = \frac{0{,}62 \cdot 0{,}488 \cdot 1{,}131099}{1{,}131099 + 0{,}62 \cdot 0{,}488} = 0{,}2387.$$

Es ist also für die gemeinschaftliche Brennweite = 1 des Objectivs:

r' = 0,687353; r'' = 0,2326; r''' = 0,2387 und r'''' = 1,131099.

Da aber die in Beispiel 5 gegebene Brennweite des Objectivs = 40 Cm. ist, so brauchen blos die oben gefundenen, auf die Brennweite 1 bezogenen Werthe mit 40 multiplicirt zu werden und man erhält:

r' = 27,49412 Cm.; r'' = 9,304 Cm.; r''' = 9,5480 Cm.; r'''' = 45,24396 Cm.

Ein Vergleich der hier gefundenen Werthe mit denjenigen, welche oben nach der allgemeinen Herschel'schen

Regel bestimmt wurden, läßt bereits einen ungefähren Schluß ziehen auf den Unterschied in der Genauigkeit der beiden Bestimmungsweisen, und daß man bei der Berechnung größerer Objective jedenfalls besser thun wird, sich der Tafeln Barlow's zu bedienen.

Je größer die Oeffnung eines Objectivs genommen wird, desto deutlicher und störender treten dann auch die bei der Berechnung und Ausführung desselben begangenen Fehler heraus; man muß also bei derselben mit großer Genauigkeit verfahren. Da nach Fraunhofer's Erfahrung in der Abweichung der intensivsten Farben im Bilde des Objectivs ein Minimum eintritt, wenn das durch Versuche gefundene Zerstreuungsverhältniß des Crown- und Flintglases um 0,012 größer genommen wird, so wird man dasselbe mit dem Werthe 1,012 multipliciren und das Product statt des geringeren Zerstreuungsverhältnisses in Rechnung ziehen müssen. Angenommen, das durch Versuche gefundene Zerstreuungsverhältniß sei = 0,627; man würde also dafür den Werth: 0,627 . 1,012 = 0,6345 substituiren.

Die nach beiden Methoden gefundenen Krümmungshalbmesser der inneren Flächen des Objectivs lassen aber auch zugleich erkennen, wie nahe die letzteren zusammenfallen, so daß nichts natürlicher erscheint, als der Gedanke: wie sehr es in mehrfacher Hinsicht von Vortheil sein müsse, wenn die beiden inneren Flächen von gleichem Halbmesser hergestellt würden. Und in der That, man pflegt die Objective bis zu einer gewissen Größe ihrer Oeffnung mit gleichen mittleren Krümmungshalbmessern herzustellen, und die beiden, das Objectiv bildenden Linsen mit ihren gleichen mittleren Flächen mit Hilfe von canadischem Balsam zusammenzukitten. Die durch das Gleichmachen der mittleren Flächen etwa hervorgerufenen Fehler werden durch folgende Vortheile wieder

ausgeglichen. Dadurch, daß die beiden mittleren, die Helligkeit des Bildes beeinträchtigenden Flächen in Wegfall kommen, wird das Bild lichtstärker. Eine Verunreinigung der mittleren Flächen durch Staub, durch Dazwischenziehen von Feuchtigkeit u. s. w. wird unmöglich, und dadurch, daß die beiden Glaslinsen in ihrer Masse zusammen ein Ganzes bilden, ein einseitiges Verschieben der einen über die andere Linse und damit eine Störung der optischen Achse verhindert, ganz abgesehen davon, daß für die Herstellung eines solchen Objectivs auch noch ein Schalenpaar weniger nothwendig ist.

Die Construction größerer, namentlich zu astronomischen Fernröhren zu benutzender, sehr genauer Objective läßt allerdings keine Abweichung von den berechneten inneren Kugelflächen zu, wenn nicht störende Undeutlichkeiten, namentlich in der Schärfe des Bildes eintreten sollen.

Will man die für obiges Beispiel berechneten Halbmesser der inneren Flächen so umformen, daß sie gleich werden, so lasse man die Convexlinse unverändert, mache $r''' = 0{,}2326$ und berechne daraus r'''' nach der aus 42) entwickelten Formel

$$58) \qquad R = \frac{m\,p\,r}{m\,p - r}$$

wie folgt:

$$r'''' = \frac{0{,}62\ .\ 0{,}488\ .\ 0{,}2326}{0{,}62\ .\ 0{,}488 - 0{,}2326} = 1{,}00595.$$

Dieser Werth mit 40 multiplicirt, giebt:

$$r'''' = 40{,}238 \text{ Cm.}$$

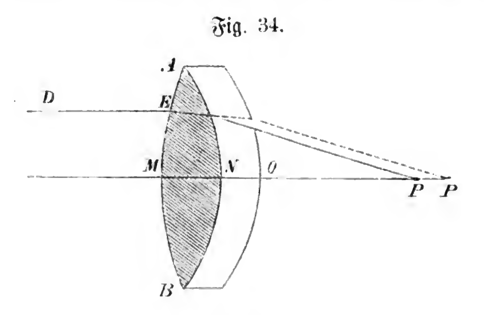
Die mittleren Krümmungshalbmesser sind dann:

$$r'' = r''' = 9{,}304 \text{ Cm.}$$

Dem aufmerksamen Leser wird es nicht entgangen sein, daß bisher die Dicke der Linsen nicht berücksichtigt

worden ist, die immerhin von Einfluß zu sein scheint, wenn man Fig. 34 betrachtet. Denn stellt AB eine Convexlinse vor, deren Dicke ein Mal = MN, das andere Mal = MO gesetzt wird (bei unveränderten Krümmungshalbmessern), so ist klar, daß, wenn DE ein mit der Achse parallel einfallender Strahl ist, derselbe nach seinem Durchgange durch die dünnere Linse nach P, nach seinem Durchgange durch die dickere Linse aber erst nach P[1] gebrochen wird, also in zwei verschiedenen Punkten die Achse schneiden würde. Es geht daraus hervor, daß man den Linsen die möglichst geringste

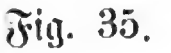
Fig. 34.

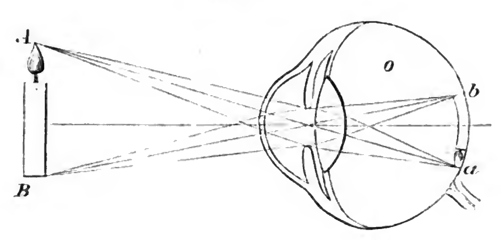


Dicke unbeschadet ihrer Festigkeit geben muß; der dann noch übrig bleibende Fehler in den Brennweiten ist den angestellten Rechnungen zufolge zu unbedeutend, als daß er bei der Construction eine besondere Berücksichtigung nöthig macht.

Von den Brillen.

Um das Auge als optischen Apparat beurtheilen zu können, muß man sich den Gang vergegenwärtigen, welchen die von einem leuchtenden oder erleuchteten Gegenstande ausgehenden Lichtstrahlen nehmen müssen, um in dem Auge denjenigen Eindruck hervorzurufen, der zur Erzeugung einer klaren Vorstellung von diesem Gegenstande nöthig ist.


Fig. 35.



AB (Fig. 35) sei eine brennende Lichtkerze und O ein nach derselben gerichtetes normales Auge. Jeder Punkt der nach dem Auge zugekehrten Seite der Kerze AB sendet Lichtstrahlen in dasselbe. Diese Strahlen werden zunächst durch die Krümmung der Hornhaut, dann besonders durch die Augenlinse von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt mit Ausnahme derjenigen, welche in der Richtung der Augenachse einfallen, also ungebrochen in das Auge eintreten. Die von dem Punkte A ausgehenden Strahlen werden so gebrochen, daß sie sich an der hinteren Wandung der Netzhaut in dem Punkte a, und die von B ausfahrenden Strahlen so, daß sie sich in dem Punkte b der Netzhaut vereinigen. Dasselbe muß

auch mit allen anderen von AB ausgehenden Lichtstrahlen der Fall sein, so daß auf der Netzhaut ein umgekehrtes und verkleinertes Bild ab des Lichtes AB entsteht. So lange dieses Bild mit der Netzhaut selbst zusammenfällt, also den daselbst ausgebreiteten Augennerv in voller Schärfe trifft, so lange wird auch ein deutliches Sehen möglich sein. Schneiden sich aber die von den verschiedenen Punkten des Gegenstandes ausgehenden Lichtstrahlen, noch ehe sie die Netzhaut treffen, oder hinter derselben, d. h. mit anderen Worten, kommt das Bild schon vor oder erst hinter der Netzhaut zu Stande, so ist ein deutliches Sehen unmöglich. Bei einem normalen Auge beträgt diejenige Entfernung vom Auge, in welcher dasselbe eine gewöhnliche Schrift am deutlichsten zu sehen vermag, etwa 25 Cm. Das deutliche Sehen wird durch einen geeigneten Muskelapparat ermöglicht, indem nämlich zunächst der an der Iris gelegene zarte Ringmuskel die nothwendigen Veränderungen der Pupillenweite, der sogenannte Ciliarmuskel die entsprechenden Krümmungen der Linse, und die das Auge umgebenden Muskeln im Vereine mit den inneren eine geeignete Veränderung des senkrechten wie des horizontalen Augendurchmessers herbeizuführen, also dem gesammten Auge eine dem deutlichen Sehen entsprechende Gestalt zu geben vermögen, so daß man fernere und nähere Gegenstände bis zu einer gewissen Grenze deutlich zu erkennen vermag. Diese Fähigkeit des Auges, sich anzupassen, nennt man sein Accommodationsvermögen. Die Eigenschaft des Auges, im normalen Zustande deutlich zu sehen, heißt Normalsichtigkeit (Emmetropie), diejenige, wonach das Bild vor der Netzhaut zu Stande kommt, Kurzsichtigkeit (Myopie) und endlich diejenige, wonach das Bild erst hinter der Haut entsteht, Uebersichtigkeit (Hypermetropie).

Das Accommodationsvermögen vermindert sich allmälig mit dem zunehmenden Alter.

Um die oben angeführten Störungen der normalen Thätigkeit der Augen auszugleichen, bedient man sich der **Brillen**, mittelst derer man die Weite des deutlichen Sehens bei kurzsichtigen und weitsichtigen Augen auf dieselbe Weite (25 Cm.) wie bei ganz normalen Augen bringen kann. Nennt man p die Brennweite des Brillenglases, d die deutliche Sehweite des betreffenden Auges und D die normale Sehweite = 25 Cm., so ist

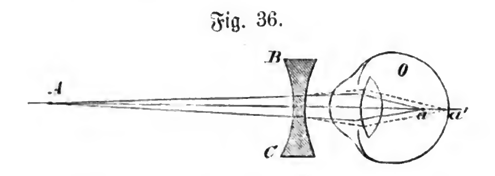
59) $$p = \frac{d\,D}{d - D} = \frac{25\,d}{d - 25}.$$

Ist $d < D$, so wird p negativ, d. h. also für ein kurzsichtiges Auge muß eine Concavlinse angewendet werden. Ist $d > D$, so ist p positiv, d. h. ein übersichtiges Auge bedarf einer Convexlinse als Brillenglas.

Die Nothwendigkeit dieser Verhältnisse der Brillengläser läßt sich aber auch schon durch Fig. 36 und Fig. 37 nachweisen. Es sei O (Fig. 36) ein kurzsichtiges Auge und A ein leuchtender Punkt vor demselben. Die von demselben ausgehenden und in das Auge dringenden Lichtstrahlen vereinigen sich zufolge der Kurzsichtigkeit in dem Punkte a zu einem Bilde **vor** der Netzhaut. Es ist nun klar, daß, wenn diese Vereinigung erst auf der Netzhaut stattfinden soll, die von A ausgehenden Strahlen in größerer Divergenz (d. h. weiter auseinandergehend, wie die punktirten Linien andeuten) auf das Auge treffen müssen, was nur mit Hilfe eines Zerstreuungsglases BC von passender Brennweite möglich ist. Ist dagegen O (Fig. 37) ein übersichtiges Auge und A ein leuchtender Punkt vor demselben, so werden alle Lichtstrahlen, die in das Auge treten, so gebrochen, daß sie in a **hinter** der Netzhaut sich zu einem Bilde vereinigen. Soll nun diesem

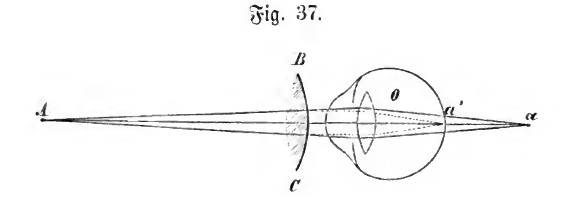
Fehler abgeholfen werden, so kann dies nur mit Hilfe einer Sammellinse BC von passender Brennweite geschehen, da die durch dieselbe hindurchtretenden Strahlen mit größerer Convergenz (d. h. mehr zusammenlaufend) auf das Auge treffen, daher in demselben schon in a¹ auf der Netzhaut,

Fig. 36.



wie die punktirten Linien angeben, sich zu vereinigen vermögen. Das oben schon erwähnte Accommodationsvermögen hat seine Grenze, indem kein Auge sich allen denkbaren Entfernungen der leuchtenden Objecte, von den der Hornhaut unmittelbar naheliegenden an gerechnet, anzupassen vermag.

Fig. 37.



Man hat daher für jedes Auge zwei Grenzabstände zu unterscheiden, die nicht von dem leuchtenden Objecte überschritten werden dürfen, ohne undeutlich zu werden. Derjenige am nächsten gelegene Punkt, bei dem noch ein deutliches Sehen möglich ist, heißt der Nahepunkt (etwa 10 bis 15 Cm.), der andere am weitesten gelegene Punkt, bei dessen Entfernung noch deutlich gesehen werden kann, der Fern-

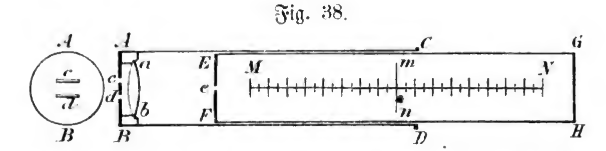
punkt des Auges, und die Entfernung zwischen diesen beiden Punkten die deutliche Sehweite. Die Abstände beider Punkte von einander und vom Auge sind bei verschiedenen Menschen verschieden, und kommt es daher auf die Bestimmung derselben bei einem nicht normalen Auge an, wenn es gilt, ein genau passendes Brillenglas für dasselbe auszusuchen. Die einfachste Weise, wie dies vorzunehmen ist, ist folgende:

Man sticht in ein Kartenblatt mit einer Nadel zwei feine Oeffnungen, die näher aneinander liegen, als der Durchmesser der Pupille beträgt, demnach etwa 2 Mm. von einander abstehen. Mit dem zu prüfenden Auge schaut man nun durch beide Oeffnungen nach einem unmittelbar vor dem Auge in der Verlängerungslinie seiner optischen Achse ausgespannten Haare oder nach einer Nadelspitze. Anfangs wird das Auge trotz seines Versuches, sich zu accommodiren, das Haar oder die Nadel wegen der großen Nähe doppelt sehen. Entfernt man aber immer in der Richtung der optischen Achse langsam das Haar, so wird man endlich mit demselben an einem Punkte ankommen, wo das Auge das Haar einfach, klar und deutlich sieht. Dieser Punkt ist der Nahepunkt. Setzt man das Entfernen des beobachteten Objectes immer noch weiter fort, so wird das Haar noch eine ziemliche Strecke deutlich, klar und einfach gesehen werden bis zu einem Punkte, von wo aus wieder das Doppeltsehen beginnt. Dieser zweite Punkt ist der Fernpunkt des Auges. Die Entfernung dieser beiden Punkte von einander ist als die deutliche Sehweite des zu untersuchenden Auges zu betrachten. Bei einem normalen Auge kann sich die deutliche Sehweite vom Nahepunkt bis in die unendliche Ferne erstrecken, und der Nahepunkt selbst bis auf 10 Cm. an die Hornhaut heranrücken. Bei Kurzsichtigen ist der Abstand

des Nahepunktes wie der des Fernpunktes vom Auge sehr gering, während bei Uebersichtigen mit beiden Punkten das Entgegengesetzte der Fall ist.

Um die normale Sehweite eines Auges noch bequemer, als auf die vorher angegebene Weise kennen zu lernen, bedient man sich eines sogenannten Optometers. Die Construction desselben stützt sich auf das oben angegebene, vom Pater Scheiner zuerst geschilderte Verfahren. Es besteht dieser Apparat zunächst aus einem ungefähr 25 Cm. langen Rohr A B C D (Fig.) 38 und einem zweiten etwa gegen 30 Cm. langen E F G H, welches in dem

Fig. 38.

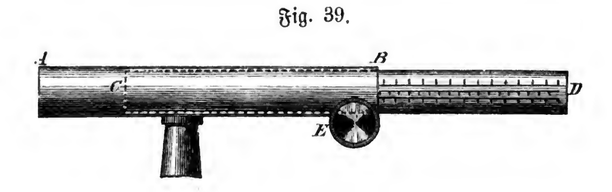


ersteren durch ein Triebwerk verschiebbar ist. A B ist eine mit zwei feinen parallelen Einschnitten c und d versehene Platte; jeder Einschnitt etwa $^1/_2$ Mm. breit und 1 Cm. hoch, beide etwa $1^1/_2$ Mm. von einander abstehend. Unmittelbar hinter A B befindet sich eine achromatische Sammellinse a b von etwa 12 Mm. Brennweite. Eine zweite Platte E F enthält nur einen Einschnitt e in der Mitte, welcher in der Größe mit den beiden Einschnitten c und d übereinstimmt und zu ihnen eine parallele Lage hat. G H ist eine mattgeschliffene Glasplatte.

Auf der äußeren Fläche des Rohres E F G H ist eine leicht erkennbare Eintheilung M N zur Messung der verschiedenen Entfernungen zwischen A B und E F und der gleichzeitigen Ablesung der Brennweiten der entsprechenden Brillengläser angebracht.

Im Verlaufe der Scala MN befindet sich eine Marke m n für diejenige Einstellung, bei welcher gewöhnlich ein gesundes Auge den Einschnitt auf der Platte EF nur einfach zu sehen vermag. Will man nun ein nicht normales Auge mit dem Optometer untersuchen, so läßt man mit demselben durch die Spaltöffnungen c und d hindurch nach der in EF befindlichen Oeffnung e sehen, und das Rohr EFGH zugleich so lange stellen, bis das Auge diesen einzelnen Spalt genau scharf und einfach sieht. An der Eintheilung MN läßt sich dann der Anfang der deutlichen Sehweite ablesen.

Fig. 39.



Prof. Dr. Burow's Optometer zur Bestimmung der Brillengläser-Brennweiten für Kurz- und Uebersichtige ist aus einem Hauptrohr AB (Fig. 39) und einem darin verstellbaren Auszugsrohr CD zusammengesetzt, beide aus Messing gefertigt. Das vordere Ende A enthält, in der Rohrachse gelegen, eine achromatische Linse, das hintere Ende B eine Stellschraube E, durch welche das Auszugsrohr CD scharf eingestellt werden kann. Letzteres besitzt bei C ein Planglas mit einer feinen photographisch entworfenen Schrift inmitten einer Zeichnung, die aus strahlenförmig auslaufenden Linien besteht, während das andere Ende D durch ein mattgeschliffenes Planglas verschlossen ist. Das Auszugsrohr trägt an der äußeren Seite vier Scalen, zwei zur Be-

stimmung der Brillengläserweite für Kurzsichtige und zwei für Uebersichtige.

Dieses Optometer ist mit Gebrauchsanweisung ohne Stativ für 36, mit Stativ für 45 Mark in der optischen Industrie-Anstalt zu Rathenow (vormals Emil Busch) zu haben.

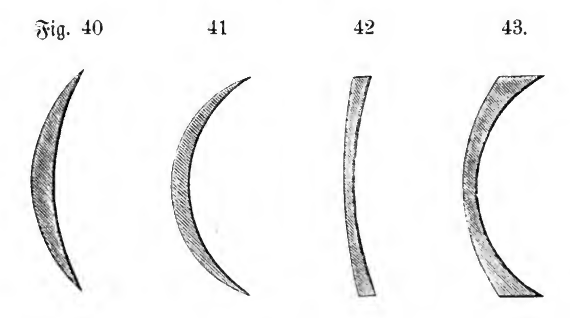
Zu Brillengläsern kann man sämmtliche Arten der bereits oben (S. 30) aufgeführten Glaslinsen nehmen. Erweist sich z. B. in einem bestimmten Falle der Kurzsichtigkeit eine Hohllinse von 10 Zoll *) (negative) Brennweite als nothwendig, so bezeichnet man diesen Grad der Kurzsichtigkeit mit dem Bruche $^1/_{10}$. Ebenso wird $^1/_{10}$ den Grad der Kurzsichtigkeit ausdrücken, wenn man ein convexes Brillenglas von 10 Zoll Brennweite anwenden muß. Man pflegt die verschiedenen Arten von Brillengläsern nach Nummern zu unterscheiden, welche ihren jedesmaligen Brennweiten entnommen sind. Ein Converglas Nr. 7 hat daher eine Brennweite von 7 Zollen. Näheres darüber sehe man am Schlusse dieses Capitels, nur sei hier noch bemerkt, daß in neuerer Zeit in augenärztlichen Kreisen das Metermaß allgemein angenommen wird. Als Nummer des Glases gilt die in Metern ausgedrückte reciproke Brennweite. Ein Glas Nr. 5 hat also $^1/_5$ Meter, ein Glas Nr. —3,5 hat also negative, d. h. $\frac{1}{3,5}$ Meter = 28,5 Cm. Brennweite.

Vielfach zieht man die concav-convexen oder periskopisch-convexen Brillengläser (Fig. 40) oder uhrglasförmig-convexen Gläser (Fig. 41) den biconvexen oder planconvexen, und die convex-concaven oder periskopisch-concaven (Fig. 42)

*) Ein Maß, welches leider immer noch beibehalten wird, weil die zur Herstellung der Brillengläser benutzten Schleifschalen anfangs nach diesem Maße angefertigt wurden.

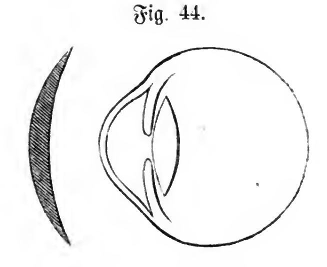
und die uhrglasförmig-concaven (Fig. 43) den biconcaven oder planconcaven Brillengläsern vor, weil man durch solche Gläser auch nach den Seiten hin besser und deutlicher sieht,

Fig. 40 41 42 43.



als durch die entsprechenden stärkeren Nummern der doppeltconvexen und planconvexen, oder doppeltconcaven und planconcaven Gläser.

Fig. 44.

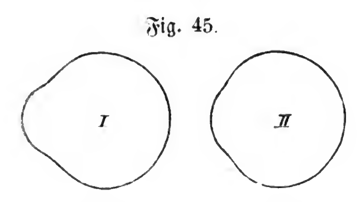


Dieses durch erstere nach allen Seiten hin mögliche Besserseben hat zur Bezeichnung »periskopisch« geführt. Die Stellung eines periskopischen Glases zum Auge deutet Fig. 44 an.

Außer den oben genannten Formen, die am häufigsten gebraucht werden, sind noch diejenigen zu erwähnen, welche

man für einen eigenthümlichen Zustand der Augen anwendet, den man mit dem Namen Astigmatismus zu bezeichnen pflegt, und welcher darin besteht, daß die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen sich in dem Auge nicht vollständig wieder in einem Punkte durchschneiden, und somit ein von der Wirklichkeit abweichendes Bild erzeugen. Die wesentliche Veranlassung zu dieser Störung ist in der unregelmäßigen Gestalt der Hornhaut zu suchen, in Folge deren die Brechungsverhältnisse nicht nach allen Richtungen hin normal erscheinen. Hat z. B. die Hornhaut (an derjenigen Stelle, wo die Lichtstrahlen in das Auge treten)

Fig. 45.



horizontal durchschnitten die in Fig. 45 I angedeutete stärkere, und im senkrechten Durchschnitt die in Fig. 45 II. gezeichnete flachere Krümmung, so wird, wenn der Unterschied dieser Krümmungen sehr bedeutend ist, jeder leuchtende Punkt nur ein verwaschenes Netzhautbild erzeugen. Solche Augenfehler corrigirt man nun mit Hilfe der cylindrischen Brillengläser, deren Flächen nicht Theile von Kugeloberflächen, sondern von Cylindermantelflächen sind, mithin die in Figur 46 I und II perspectivisch aufgezeichnete Form und Lage haben. Man hebt demnach den in Fig. 45 angedeuteten Astigmatismus dadurch auf, daß man entweder vor die Krümmung I (Fig. 45) das Hohlglas II (Fig. 46), oder vor die Krümmung II (Fig. 45) das Converglas I (Fig. 46) setzt. Noch andere

Fehler des Auges, besonders das sogenannte Doppelsehen sucht man durch Anwendung von prismatischen Brillen zu beseitigen, deren Keilform Fig. 47 (I mit convexer

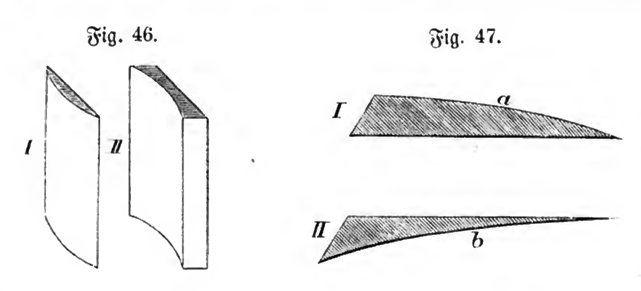
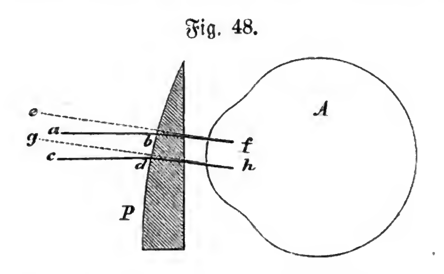


Fig. 46. Fig. 47.

Vorderfläche [a], II mit concaver Hinterfläche [b]) andeutet. Dieselben haben natürlich auch, wie alle übrigen Gläser, ver-

Fig. 48.

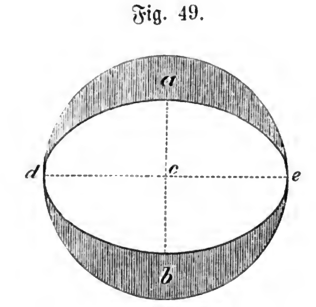


schiedene, jedem einzelnen Falle genau angepaßte Dimensionen. Ihnen fällt die Aufgabe zu, die von außen kommenden Lichtstrahlen so abzulenken, daß der beobachtete Gegenstand dem Auge in einer anderen Richtung erscheint, als er ohne Glas sich zeigen würde, so daß das Auge dadurch gezwungen wird, eine, dieser scheinbaren Richtung entsprechende, die Heilung des Fehlers bedingende Lage (oder Drehung) anzunehmen.

Es sei Fig. 48 P ein prismatisches, vor dem Auge A befindliches Brillenglas und a b und c d wären zwei von einem Objecte ausgehende Lichtstrahlen; durch das Prisma werden sie so nach dem Auge zu abgelenkt, daß das Auge sie aus den Richtungen e f und g h kommen sieht, und daher gezwungen ist, sich nach diesen Richtungen hin zu wenden, wenn es das Object deutlich sehen will.

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist die gleichförmige und durchaus reine Beschaffenheit des zu den Brillen ver-

Fig. 49.

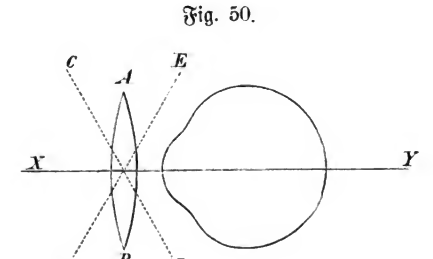


wendeten Glases, damit der Durchgang der Lichtstrahlen an keiner Stelle aufgehalten, sondern die Lichtwirkung überall gleichmäßig empfunden wird. Während z. B. bei Fernrohrobjectiven das Vorhandensein eines Bläschens dem Werthe des ganzen Glases keinen Eintrag thut, wird dasselbe im Brillenglase, besonders in der Mitte desselben, das Sehen beeinträchtigen können.

Den Gläsern pflegt man die in Fig. 49 angedeutete gefälligere ovale Gestalt zu geben, demnach die der ursprünglichen Linse angehörigen sichelförmigen Theile a und b wegzuschneiden. Wenn man indessen das letztere nicht genau be-

sorgt, d. h. die Stücke a und b nicht gleich groß hält, so daß die optische Achse c des Glases mit dem Durchschnittspunkte der senkrecht auf einander stehenden Durchmesser a b und d e nicht genau zusammenfällt, so wird sich auch schwer die nothwendige Bedingung erfüllen lassen, daß die Mitte des Glases genau vor die des Auges zu liegen kommt. Die Gläser einer Brille müssen so gefaßt sein, daß ihre Mittelpunkte ebenso weit von einander abstehen, wie die Mittelpunkte der Pupillen. Hieraus folgt, daß auch das Brillen-

Fig. 50.



gestell nicht von beliebiger Form und Größe sein darf. Ebenso muß der Abstand beider Gläser von den Augen gleich groß sein und etwa ½ Zoll oder 6 bis 8 Millimeter betragen, damit eine ungehinderte Bewegung der Augenlider sammt den Wimpern möglich sei, also ein Anstreifen und Verunreinigen der Gläser nicht stattfinden kann. Ferner soll nicht blos die Mitte des Brillenglases vor der der Pupille liegen, sondern auch die Achse des ersteren mit der des Auges so viel wie möglich zusammenfallen, wie es Fig. 50 veranschaulicht, wo die Linie XY die vereinigte Brillenglas- und Augenachse, also AB die richtige, dagegen CD oder EF die falsche Lage des Brillenglases andeutet. Diese Bedingung

kann einzig und allein nur durch ein genau passendes Gestell erfüllt werden. Man wird daher begreifen, daß es nicht ganz gleichgiltig sein kann, bei welcher Art des Sehens das Auge einer besonderen Unterstützung durch die Brille bedarf. Beim Sehen in der freien Natur, wo die Ferne eine wesentliche Rolle spielt, werden die Brillengläser anders stehen müssen, als beim Sehen nach unten oder in der Nähe, wie z. B. beim Schreiben, Lesen, Nähen, Sticken u. s. w., denn die Gläser folgen leider nicht der Drehung der Augen, so daß man sie einer, zu gewissen Zeiten vorwiegenden Stellung der letzteren ihrer Lage nach möglichst genau anpassen muß, wenn sie nicht völlig nutzlos oder gar schädlich wirken sollen. Der dauernde Gebrauch von Brillengestellen, wie sie z. B. in der Form der sogenannten Nasenklemmer (Pince-nez), Lorgnetten und Monocles vertreten sind, ist durchaus zu vermeiden, weil sich eben mit denselben die oben aufgeführten Bedingungen schwer erfüllen lassen.

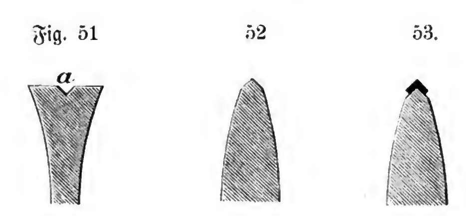
Bei der Wahl einer Brille kommt es also darauf an, daß man sehr gewissenhaft verfahre, und genau prüfe, bis zu welchem Grade der Vollkommenheit die Fähigkeiten des Auges noch vertreten sind, wie sehr dieselben von denjenigen eines normalen Auges abweichen. Die Untersuchung der Accomodation, des Grades der Kurz- und Uebersichtigkeit, die Berücksichtigung des besonderen Zweckes der Brille, die Vergleichung beider Augen, das sind die ersten Dinge, welche bei der Auswahl einer Brille zu beachten sind.

Gilt es, die richtige Nummer des Brillenglases zu bestimmen, so muß man zur Messung seine Zuflucht nehmen, wobei es vor allen Dingen auf die Größe des Sehwinkels (S. 48) ankommt, unter welchem ein bestimmtes kleines Object noch deutlich wahrgenommen werden kann. Obgleich der kleinste Sehwinkel, unter welchem man Gegenstände noch deutlich

wahrzunehmen vermag, 30 und noch weniger Secunden beträgt, so pflegt man doch gewissermaßen als Einheit für die Sehwinkelmessung den Betrag von 5 Minuten anzunehmen, unter welchem wir noch Buchstaben ohne Mühe schnell und deutlich von einander zu unterscheiden vermögen.

Bei der Fassung der Brillengläser in geeignete Brillengestelle kommt es vor allen Dingen auf die Gestalt der Glasränder an, welche entweder breit oder scharfkantig sein können. Die Facette eines Hohl- oder Zerstreuungsglases ist breit, wie in Fig. 51 angedeutet; es genügt daher, eine in ihrer Mitte rings herum verlaufende schmale Furche oder

Fig. 51 52 53.



Nuth zu schleifen, mit welcher das Glas in die drahtförmige Fassung des Brillengestelles gefaßt wird. Diese Furche oder Nuth muß also so breit und tief sein, daß sie die Fassung gerade aufzunehmen vermag. Die Facette eines Convex- oder Sammelglases ist kantig geschliffen, wie Fig. 52 zeigt, die Fassung des Brillengestelles muß daher anders, und zwar im Querschnitt winkelförmig oder hohl gestaltet sein, um den Glasrand umfassen zu können, wie in Fig. 53 im vergrößerten Maßstabe angegeben. Ehe aber ein Brillenglas in ein bestimmtes Brillengestell gefaßt werden kann, wird es meistens erst der Größe der Fassung desselben angepaßt werden müssen, denn selten wird es, es mag nun von dem Optiker selbst geschliffen, oder erst von einer optischen Industrie-

anstalt bezogen worden sein, zufällig gerade die entsprechende Größe haben und sofort eingespannt werden können. Man muß daher von seinem Umfange — denselben stets etwas zu groß vorausgesetzt — einen mehr oder weniger geringen Theil durch gleichmäßiges, allmäliges Abschleifen auf einem guten Schleifsteine, der in Wasser rotirt, entfernen, bis der gewünschte Durchmesser des Glases erreicht ist. Damit kein Zuviel vom Glasrande hinweggenommen werde, muß man stets ab und zu ein Einpassen des Glases in die Fassung versuchen. Beim Abschleifen des Randes ist außerdem stets darauf zu achten, daß die ursprüngliche in Fig. 51 und 52 angedeutete Gestalt der Facette erhalten bleibe, und daß sich ferner keine Glas- oder Steinpartikelchen auf der polirten Glasfläche ansetzen und auf derselben Kritzel erzeugen können, weshalb man immer ab und zu das Glas in einem bereit stehenden, mit reinem Wasser gefüllten Gefäße abspült.

Das Einschleifen der Furche in den breiten Rand des Glases geschieht mittelst einer in die Drehbank eingespannten Kupferscheibe und Schmirgel. Das Glas wird mit der Mitte seines Randes gegen den Rand der rotirenden Kupferscheibe so gehalten, daß die Ebene der Scheibe auf der breiten Fläche des Randes senkrecht steht, während mit einem Löffelchen stets eine Portion mit Wasser angefeuchteter Schmirgel dazwischen gegeben wird. Das Glas muß dabei natürlich fortwährend um seine Achse gedreht werden.

Ist man gezwungen, aus einem kreisrunden Glase ein ovales zu bilden, wie es bereits oben und in Fig. 49 angedeutet worden, so bedient man sich einer recht genau in Glas oder Metallblech ausgeführten, ovalen Normalform oder Schablone, legt dieselbe auf das Brillenglas, welches vorgerichtet werden soll, so daß die Mitte der Schablone genau mit der Mitte des Glases zusammenfällt, und reißt,

die Schablone in ihrer Lage festhaltend, mit einem Vorreißer am Rande derselben genau herumfahrend, die ovale Form auf dem Glase mit kräftigem Drucke vor. An der hinreichend tief in das Glas eingeritzten Linie entlang werden nun die überflüssigen äußeren Glasstücke mittelst einer guten Beißzange durch Abkneipen und Verbrechen allmälig entfernt, bis das Glas seine rohe ovale Form erlangt hat, die dann auf dem Schleifsteine, wie oben schon angegeben, genauer hergestellt werden kann.

Es ist nicht zu umgehen, daß die Schablone, während sie zum Einritzen ihrer Form auf dem Glase festgehalten wird, sich nach der einen oder der anderen Seite hin etwas verschiebt, die beiderseitigen Mittelpunkte demnach nicht mehr genau übereinander liegen bleiben, und somit das Brillenglas excentrisch werden kann. Um dies zu verhüten, ist es gut, die Schablone an 3 oder 4 symmetrisch gelegenen Stellen mit kleinen Stückchen Klebwachs zu versehen und mittelst derselben nicht leicht verschiebbar centrisch auf dem Glase zu befestigen.

Den Vorreißer verfertigt man am besten aus einer dreikantigen, guten englischen Feile, die man, nachdem sie genügend ausgeglüht, nach der Spitze hin pyramidal zufeilt (wie Fig. 54 erläutert), dann gut härtet und zuletzt spitz schleift.

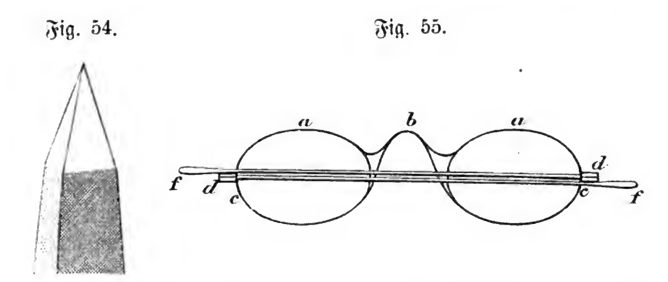
Was die Brillengestelle anlangt, so unterscheidet man verschiedene Formen, welche mehr oder weniger durch den sehr mannigfaltigen Gesichtsbau, sowie durch ihren Zweck bedingt, und auch besonders bezeichnet werden. Das Material, aus welchem die Brillenfassungen hergestellt werden, ist sehr verschieden. Das wichtigste ist der Stahl und bilden daher die Stahlbrillengestelle den gangbarsten Artikel.

Außer dem Stahle verwendet man aber auch Neusilber, Silber, Gold, Nickel, Aluminium-Bronze, Horn und

Schildpatt. Der erste und wichtigste Unterschied in den Brillenfassungen wird durch die Form der Gläser bedingt, und es giebt daher Brillenfassungen für ovale, und solche für runde Gläser, von welchen die ersteren wieder wegen ihrer gefälligeren Form vorgezogen werden.

Von der Gestalt des Gesichtes hängt wesentlich die Gestalt des Mittelstückes des Brillengestelles ab. Das Mittelstück des Brillengestelles besteht aus den Gläserfassungen oder Augenrändern a (Fig. 55), dem Nasensteg b und den

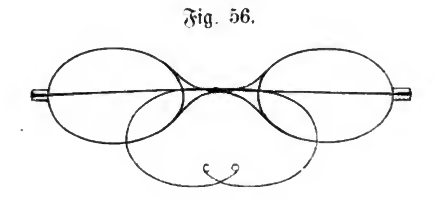
Fig. 54. Fig. 55.



Backen c, in welchen sich die Feder-Charniere d befinden. Durch den Nasensteg werden die beiden Gläserfassungen mit einander verbunden. Er muß wegen der verschiedenen Gestalt des Nasenrückens auch eine verschiedene Form haben, und unterscheidet man namentlich sechs Arten von Nasenstegen: das Doppel-C, K, $\frac{1}{2}$ K, X, »englisch rund« und »englisch flach«. »Doppel-C« zeigt Fig. 55; die Form X ist in Fig. 56, die Form »englisch rund« in Fig. 57 zu erkennen. Zwischen »Doppel-C« und X liegen K und $\frac{1}{2}$ K; »englisch flach« ist eben flacher gebogen, als »englisch rund«. Die englischen Nasenstege sind sonach die einfachsten. Personen, deren Augen

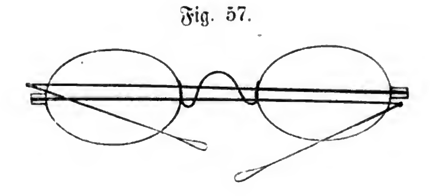
stark hervortreten, oder deren Nasenrücken sehr eingebogen ist, pflegen mit ihren Augenwimpern gewöhnlich an die Brillengläser anzustoßen; um daher den letzteren einen größeren Abstand von den Augen zu geben, muß der Nasensteg mehr

Fig. 56.



nach innen gebogen werden, und zwar so lange, bis die passende Lage gefunden worden ist. Dabei nähern sich aber die Gläserfassungen um einen bestimmten Betrag, und es

Fig. 57.



kann daher der Fall eintreten, daß die Mitten dieser Fassungen oder der Brillengläser näher aneinander zu liegen kommen, als die Entfernung der Augen-Achsen beträgt, was nicht sein darf. Man muß daher zu dem Zwecke ein Brillengestell nehmen, dessen Fassungen etwas weiter auseinander stehen, als die Augen des Brillenbedürftigen, damit der nöthige Spielraum zur Einbiegung des Brillensteges vorhanden ist.

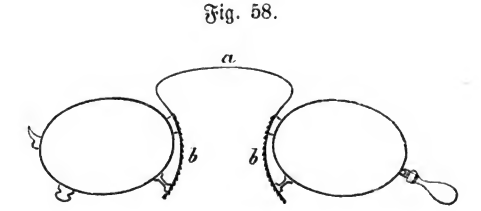
Die Seitentheile eines Brillengestelles, die sogenannten Federn d f (Fig. 55), können dreierlei Formen haben, und man unterscheidet daher Brillenfassungen oder Brillengestelle mit einfachen Federn (Fig. 55), Brillenfassungen mit Reitfedern (Fig. 56) und solche mit doppelten Federn (Fig. 57). Die Brillenfassungen mit Reitfedern und mit doppelten Federn pflegen von Herren, die mit einfachen Federn von Damen getragen zu werden. Der Querschnitt der Federn kann drahtförmig, also rund, aber auch vierkantig oder flach sein, die Enden derselben sind etwas löffelförmig erweitert und theilweise mit einem Schlitz versehen. Die Federn sind an den Backen des Mittelstückes mittelst Charnieren befestigt, die stets mit einem Schraubenzieher sich etwas lüften lassen, um das Einpassen der Gläser bequem vornehmen zu können. Die Reitbrillenfedern, welche sich vorzugsweise zu den feinen, dünnen Fassungen eignen und denselben besonders beim Reiten einen festen, der Erschütterung des Körpers widerstehenden Halt gewähren, werden entweder drahtförmig oder durch Zusammenwinden mehrerer sehr dünner Federn hergestellt und an den Enden mit kolbenförmigen Erweiterungen versehen.

Die aus Stahl gefertigten Federn pflegen im Feuer, die aus anderem Metall bestehenden durch Hämmern oder Pressen gehärtet zu sein.

Bei dem sogenannten Pince-nez oder Klemmer sind die Gläserfassungen durch einen federnden Bügel a (Fig. 58) verbunden, an dessen Enden unten sich die beiden meist aus Schildpatt gefertigten, etwas genarbten Bügel b anschließen, welche dazu dienen, sich fest an die Seiten des Nasenrückens anzulegen und den Klemmer zu halten. Beim Nichtgebrauche pflegt man den Klemmer zusammen-, d. h. die beiden Gläser übereinander zu legen, wobei sie aber ebenfalls, und zwar als e i n Glas mit doppelter Schärfe benutzt werden können.

Die Brillenfassungen aus Horn und Schildpatt sind wegen der geringeren Widerstandsfähigkeit dieser Substanzen natürlich etwas massiver ausgeführt, als die metallenen. Die Gläserfassungen sind hierbei aus dem Ganzen, und, um die Gläser in dieselben einzupassen, müssen sie so gestaltet werden, daß sie nur um ein sehr Weniges größer sind, als die Fassungen selbst, und letztere nur über einer Spiritus-flamme erwärmt zu werden brauchen, um sie so viel auszu-weiten, daß sich die Gläser dann einfügen und beim Wieder-erkalten befestigen lassen. Manche Brillen besitzen gar keine

Fig. 58.



besonderen Fassungen, und die Gläser sind an zwei diametral gegenüber gelegenen Stellen durchbohrt und durch Schräubchen sowohl an dem Nasensteg, als auch an den Feder-Charnieren direct befestigt.

Die zur Bestimmung der Sehschärfe jetzt üblichste, ein-fachste Art ist die mit Hilfe von Probebuchstaben oder Schriftproben. Besonders empfehlenswerth sind die von Dr. Snellen und von Dr. A. Nieden aufgestellten, von welchen jede Größe mit derjenigen Entfernung über-schrieben ist, aus welcher sie unter einem Sehwinkel von fünf Minuten wahrgenommen wird. Sieht nun ein fehler-haftes Auge mit Hilfe eines Brillenglases eine bestimmte

Buchstabenclasse aus derjenigen Entfernung, mit welcher dieselbe überschrieben ist, ohne die geringsten Beschwerden, klar und deutlich, so kann das Glas als für das Auge passend zur Brille genommen werden. Als Entfernung nimmt man bei dieser Sehprüfung immer die größte, die dem Auge mit dem Glase zu erreichen möglich ist.

Wenn, wie schon oben mehrfach angedeutet worden, es wesentlich darauf ankommt, bei der Wahl einer Brille mit möglichster Sorgfalt zu verfahren und darauf zu achten, daß die Gläser vollkommen farblos, rein, ohne Bläschen, Flecken, genau geschliffen und fein polirt, daß ihre Fassung in dem Gestelle, ihre Stellung zum Auge den Eigenschaften und der vorwiegenden Thätigkeit des letzteren gewissenhaft angepaßt sei, weil eben das Auge ein feiner, empfindlicher optischer Apparat ist, so müßte man auch noch einem Fehler der Brillengläser eine besondere Aufmerksamkeit schenken, und das ist die bei anderen guten optischen Apparaten schwer ins Gewicht fallende chromatische Abweichung der einfachen optischen Linsen. Wir wissen, wie ängstlich man darauf bedacht ist, diesen jede genaue Beobachtung störenden Fehler z. B. bei einem guten Fernrohr oder Mikroskop zu beseitigen, und man sollte meinen, daß es für die Erhaltung, oder wohl gar für die Verbesserung der momentan vorhandenen Sehschärfe eines brillenbedürftigen Auges nur von Vortheil seikönne, wenn die von den besonders häufig beobachteten oder zu betrachtenden Gegenständen (wie Schrift, Zeichnungen, feine Nähereien und Stickarbeiten u. s. w.) ausgehenden Lichtstrahlen auch völlig farblos oder in ihrer ursprünglichen Farbe in das Auge gelangen. Und in der That, Versuche mit solchen achromatischen Brillen haben dargethan, daß dieselben in Fällen, wo die Augen mehr als gewöhnlich angestrengt zu werden pflegen, eine angenehmere und beruhi-

gendere Wirkung hervorbringen, als die aus äquivalenten einfachen Brillengläsern zusammengesetzten Brillen.

Leider stellt sich der häufigeren Anwendung solcher Brillen der hohe Preis derselben, sowie ihre nicht gerade gefällige und schwerfällige Form — denn die Gläser würden ihrer genauen Centrirung halber, kreisförmig bleiben müssen — hindernd entgegen. Immerhin dürften vielleicht solche Brillen als eigentliche Arbeitsbrillen allen denen zu empfehlen sein, welche feine und langandauernde Augenarbeit zu verrichten haben.

Zum Schluß sei hier noch der sogenannten Schutzbrillen gedacht, welche den Zweck haben, das Auge vor schädlichen mechanischen und optischen Einflüssen zu bewahren. Um erstere abzuhalten, bedient man sich jetzt mit Vortheil der sogenannten Glimmerbrillen, welche aus muschelförmig gebogenen oder hohlen, das Auge gut umschließenden dünnen Glimmerplatten bestehen, die ebenfalls in geeignete Brillengestelle gefaßt werden. Zur Abhaltung schädlichen Lichtes dagegen wendet man verschiedenfarbige Gläser an. Von letzteren sind zu nennen: die grauen, welche grelles Licht dämpfen und daher auf großen Schnee- und glänzenden Wasserflächen sich nützlich, dagegen an Orten, wo ohnedies schon Lichtmangel vorhanden, sich schädlich für die Augen erweisen. Noch besser sind die blauen Brillen, welche weniger das gesammte in das Auge einfallende Licht, als vielmehr nur den am meisten blendenden Bestandtheil desselben, das gelbe Licht dämpfen. Da es nicht ganz gleichgiltig ist, welche Intensität die Färbung eines Glases besitzt, und man dasselbe leicht zu dunkel nehmen könnte, so geht man am sichersten, wenn man die schwächste Färbung des Glases wählt, welche eben gerade mildernd genug wirkt, ohne das Auge in dem Bestreben, auch deutlich zu sehen, hinderlich zu sein. Zu

dunkle Gläser stumpfen die Augen gegen die Farbe des Glases unnöthig ab, und machen dasselbe fähig, alle Gegenstände ohne Brille nur in der zur Farbe des Glases complementären Farbe zu erblicken.

Bei besonders empfindlichen Augen, oder irgend welchen anderen Krankheitszuständen desselben erscheint es gerathen, sich erst an einen tüchtigen Augenarzt zu wenden und sich nach dessen Vorschriften bezüglich der Wahl einer Brille genau zu richten.

Es ist hier der Ort, die Aufmerksamkeit auf die vorzüglichen Leistungen der »Rathenower optischen Industrie-Anstalt, vormals Emil Busch« in Rathenow (Preußen) aufmerksam zu machen. Dieselbe liefert die denkbar besten Brillengläser aller Art nach drei Scalen sortirt, von welchen die von Professor Dr. Burow aufgestellte, zur Auswahl als ganz besonders gut geeignet empfohlen wird, weil sie, von einer richtigen Basis (von dem Glase Nr. 120 = 3 Mtr. Brennweite) ausgehend, bis auf sehr wenige Ausnahmen, alle Nummern enthält, welche in der Praxis seit alter Zeit bestehen. Diese Burow'sche Scala, welche dem Anhange dieses Werkes mit angefügt ist, besteht aus fünf mit I, II, III, IV, V überschriebenen Columnen, von welchen I und II die sogenannten Dioptrien oder Grade der Brechkraft der Gläser enthält nach dem Refractions-Intervall eines Glases, dessen Brennweite ein Mal = 3 Mtr. (I. Col.), das andere Mal = 1 Mtr. (II. Col.) angenommen ist. Es ist also das Glas mit der Dioptrie 1 auf 3 Mtr. oder mit der Dioptrie $^1/_3$ = 0,333 auf 1 Mtr. bezogen, das schwächste, dasjenige mit der Dioptrie 60 resp. 20 das stärkste Brillenglas. Columne III enthält die Brillengläser-Scala in Millimetern, und ein Vergleich mit der Columne I zeigt, daß z. B. die Dioptrie 11 einem Brillen-

glase von 273 Mm. entspricht. Columne IV enthält die nominelle Brennweite nach rheinländischen Zollen (1 Zoll = 26,154 Mm.). Dieselbe bezeichnet zugleich die (oben schon erwähnte) sogenannte Nummer des Brillenglases. Diese Nummern folgen bis auf Nr. 5 in der Weise aufeinander, daß zwischen je zwei in Bezug auf die Wirkung immer die gleiche Differenz obwaltet, dergestalt, daß ein Glas Nr. 120 zu einer schwächeren Nummer hinzugefügt, stets die Wirkung der (auf diese schwächere Nummer) folgenden stärkeren Nummer erzeugt. Die Columne V endlich weist die wirkliche Brennweite (gleich der in Millimetern der III. Col.) der Brillengläser auf, die sich stets mit Berücksichtigung des Brechungsindex 1,523 des dazu verwendeten Glases dadurch ergiebt, daß das Schleifen in Schalen stattfindet, die in ihren Krümmungsradien mit den nominellen Brennweiten übereinstimmen, d. h. also ein Glas von z. B. 19,12 rheinl. Zoll wirklicher Brennweite trägt die Nummer 20, ist also in einer Schleifschale angefertigt worden, welche den Krümmungsradius 20 besitzt. Verlangt man z. B. ein Glas Nr. 24, so erhält man ein Glas von 22,94 rheinl. Zoll oder 600 Mm. Brennweite.

Daß ein Glas aus dem Radius = 120 rheinl. Zoll (doppeltconvex) geschliffen 114,72 Brennweite bei einem Brechungsindex von 1,523 erhält, sagt uns Formel 26) Seite 39, wo m = 0,523.

Das dioptrische Fernrohr.

Jedes dioptrische Fernrohr besteht in der Hauptsache aus zwei Theilen, und zwar aus dem schon behandelten Objectiv, welches, wie bekannt, eine aplanatische Doppellinse ist, die von entfernten Gegenständen ein möglichst klares und deutliches Bild entwerfen soll, und aus dem Ocular, welches auch aus einem Linsenglase oder mehreren besteht, und dazu dient, das durch das Objectiv entworfene Bild für unser Auge deutlich wahrnehmbar zu vergrößern. Wie das Objectiv, so verlangt das Ocular eine, von gewissen Regeln abhängige genaue und gewissenhafte Construction, und unterscheidet man einfache, doppelte, dreifache und vierfache Oculare, je nach der Anzahl von Linsen, aus welchen dieselben zusammengesetzt sind.

Ein Fernrohr, welches aus einem Objectiv und einem einfachen Ocular besteht — für welches letztere unter Umständen auch ein zweifaches Ocular substituirt werden kann — nennt man schlechthin ein astronomisches Fernrohr. Die das Fernrohr bildenden Gläser sind so gestellt, daß ihre Achsen und ihre Brennpunkte zusammenfallen.

Um den Gang der Lichtstrahlen durch ein solches Fernrohr bequem verfolgen zu können, betrachte man Fig. 59, wo AB das Objectiv und ab das Ocular vorstellen möge. D und E seien, neben anderen, zur Achse parallel einfallende Strahlen, und G und H zwei durch AB ungebrochen hindurchgehende Hauptstrahlen, welche von den äußersten (obersten und untersten) Punkten eines sehr weit gelegenen Objectes ausgehen. Die Strahlen D und E, sowie alle anderen, mit

Fig. 59.

ihnen parallele Strahlen, schneiden sich in dem Brennpunkte F und geben da das Bild des Mittelpunktes des Objectes, gehen dann weiter durch das Ocular a b, aus welchem sie, weil sie vom Brennpunkte F der Linse a b ausgehen, parallel zur Achse als Strahlenbündel aus-, und bei O in das Auge treten, um auf der Netzhaut desselben zu einem zweiten Bilde in f sich zu vereinigen. Aus der Richtung der Strahlen G und H folgt, daß das Bild hg im Brennpunkte des Objectivs verkehrt, und aus dem Gange des zu H parallelen Strahles K (der mit H durch h geht, dann mit H parallel ins Auge tritt), daß das zweite Bild g' h' auf der Netzhaut aufrecht stehen muß. Da das Auge aber die Bilder der Netzhaut in umgekehrter Lage zum Bewußtsein bringt, so erscheint der durch das Fernrohr betrachtete Gegenstand umgekehrt.

Ist MF nicht die Brennweite, sondern die Vereinigungsweite des Objectivs, so muß das Ocular so gerückt werden, daß sein Brennpunkt mit dem Vereinigungspunkte zusammenfällt, wenn ein deutliches Sehen möglich sein soll; es muß

daher das Rohr, in welchem sich das Ocular befindet, in dem Rohre des Objectivs verschiebbar angebracht werden.

Die Stelle, wo das Auge am Oculare, d. i. der Augenpunkt sich befinden soll, um am deutlichsten zu sehen, läßt sich leicht berechnen, wenn man den Punkt M als einen leuchtenden Punkt in der Achse annimmt, dessen Strahlen M h und M g nach ihrem Durchgange durch a b sich in O vereinigen. Nach Formel 32) ist, da $a = Mm$; $p = Fm$ und $\alpha = mO$

$$mO = \frac{Mm \cdot Fm}{Mm - Fm}$$

Ist p die Brennweite des Objectivs, q die des Oculars und o die des Augenpunktes, so ist

$$60) \qquad o = \frac{(p + q)q}{p}$$

Um dem Auge zu dem Oculare eine geeignete Stellung geben zu können, bringt man vor dem Oculare in der halben Entfernung des Augenpunktes einen Deckel (Oculardeckel) mit einer Oeffnung an, die halb so groß, als die Ocularlinse ist.

Aus Fig. 59 läßt sich weiter die Zahl ableiten, welche angiebt, wie viel Mal das im Brennpunkte des Objectivs befindliche Bild durch das Ocular vergrößert wird. Das Auge sieht das Bild hg unter dem Winkel iOK, und da $iOK = hmg$, so wird der Quotient $\frac{\sphericalangle hmg}{\sphericalangle hMg}$ auch angeben, wie viel Mal das Auge das Bild hg in O größer sieht, als wenn es sich in M befinden würde. Da die Winkel in Wirklichkeit klein sind, so kann man setzen: $\sphericalangle hmg : \sphericalangle hMg = p : q$. Die Vergrößerung v wird daher ausgedrückt durch:

61) $$v = \frac{p}{q}.$$

Die Oeffnung e der Ocularlinse bestimmt man, wenn r der kleinste ihrer Krümmungshalbmesser ist, nach

62) $$e = 0{,}5\,r$$

oder höchstens $$= 0{,}6\,r$$

Nimmt man, wie gewöhnlich, das Ocular planconvex, so wird

63) $$e = 0{,}69$$

Der Fassung der Ocularlinse wegen nimmt man ihre berechnete »nützliche Oeffnung« noch etwas größer.

Der Winkel GMH (Fig. 59) heißt die Größe des Gesichtsfeldes, sie ist $= \sphericalangle\, kMi$, hängt also von der Größe der nützlichen Oeffnung der Ocularlinse ab. Bezeichnet man mit φ die Größe des Gesichtsfeldes, so ist

64) $$\varphi = \frac{0{,}6\,q}{p + q} \;.\; 3438$$
$$= \frac{3438 \;.\; 0{,}6}{v + 1}$$

Der Grad der Helligkeit eines durch ein Fernrohr betrachteten Objectes wird durch folgende Gesetze bestimmt:

1. Die Helligkeiten der Bilder zweier Fernröhre mit verschiedenen Objectivöffnungen, aber gleichen Vergrößerungen und gleichen Ocularöffnungen, verhalten sich wie die Quadrate der Objectivöffnungen.

2. Diese Helligkeiten stehen bei zwei gleichen Fernröhren mit verschiedenen Vergrößerungen im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Vergrößerungen, d. h. also, ein Fernrohr, welches zweimal mehr vergrößert

als ein anderes sonst gleiches, besitzt im Allgemeinen eine viermal geringere Helligkeit, als das andere.

So sind denn das Gesichtsfeld, die Vergrößerung, der Grad der Helligkeit, und mit diesem die Größe der Objectivöffnung sehr wichtige, bei der Beurtheilung eines Fernrohrs zu berücksichtigende Eigenschaften, die in einer gewissen Abhängigkeit von einander stehen, derart, daß sie sich wechselseitig beschränken. Mit der Zunahme der Vergrößerung sinkt z. B. die Größe des Gesichtsfeldes, sowie die der Helligkeit. Mit der Zunahme der Objectivöffnung wächst die der Helligkeit, aber auf der anderen Seite auch die Undeutlichkeit des Bildes wegen der Kugel- und chromatischen Abweichung.

Es ist von großer Wichtigkeit zu wissen, wie weit man mit der Oeffnung eines Objectivs bei gegebener Brennweite gehen darf, und kann man sich allgemein nach folgender, der Praxis entnommenen Formel richten, wo e die Objectivöffnung in Millimetern und p die Brennweite des Objectivs in Centimetern bedeutet:

$$e = \frac{50}{57} \sqrt[4]{51{,}3\, p^3} \tag{65}$$

6. Beispiel. Die Brennweite eines Objectivs sei = 150 Cm.; es soll die dazugehörige Oeffnung gesucht werden.

Formel 65) giebt:

$$\log e = \log 50 + \frac{1}{4} (\log 51{,}3 + 3 \log 150) - \log 57$$

$$\log e = 2{,}0051929,$$

daher

$$e = 101{,}203 \text{ Mm.}$$

Die geringste Brennweite, welche man dem einfachen astronomischen Ocular geben kann, beträgt ungefähr 0,6 Cm., so daß z. B. ein Objectiv von 150 Cm. Brennweite damit eine Vergrößerung von 150 : 0,6 = 250 gestatten würde.

Das einfache Ocular leidet sowohl an der chromatischen, wie an der sphärischen Abweichung; man ist daher darauf bedacht gewesen, achromatische, respective aplanatische Oculare aus mehreren Linsen von demselben Glase zusammenzustellen, welche sich wesentlich vor dem einfachen Ocular auszeichnen.

Von dem aplanatischen Doppelocular erster Classe (das Campanische Ocular).

Dieses Ocular besteht aus zwei planconvexen Linsen, welche mit ihrer convexen Seite dem Objectiv zugekehrt sind in der Weise, wie Fig. 60 andeutet. Diese Linsen (A und B) stehen so, daß, nachdem die Strahlen D und E durch A in ihre farbigen Bestandtheile zerstreut worden, die letzteren von der Linse B wieder in paralleler Richtung nach dem Auge gebrochen, demnach von demselben als weißes Licht empfunden werden. Zu dem Zwecke muß sich die Brennweite der Linse A, welche man die Collectivlinse nennt, zu der von B, welche die Ocularlinse heißt, wie 3 : 1 verhalten, wenn der Abstand der beiden Linsen = 2 gesetzt wird. Setzt man die Brennweite des Objectivs = p, die Brennweite der Linse A = p', die der Linse B = p'', und den Abstand der Linsen = d, so ist: p' : d : p'' = 3 : 2 : 1

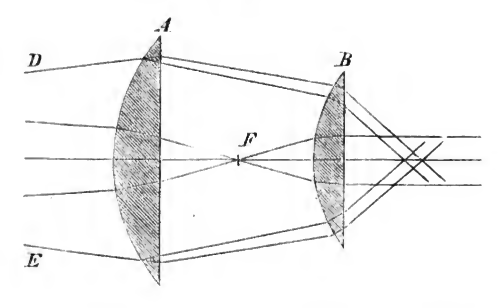
und die Brennweite der ersten Linse pflegt man so zu nehmen, daß

66) $$p' = \frac{2\,p}{v}$$

wenn v die Vergrößerung bedeutet. Hiernach ist

67) $$v = \frac{2\,p}{p'}$$

Fig. 60.



Setzt man o für die Entfernung des Auges von der hinteren Fläche der zweiten Linse B, so ist

68) $$o = \frac{p'}{6}$$

Die Oeffnungen der Linsen macht man den Hälften ihrer Brennweiten gleich.

Das Gesichtsfeld dieses Oculars ist doppelt so groß, als das für das einfache Ocular.

Da das Bild in die Mitte zwischen die beiden Gläser fällt, so setzt man an diese Stelle eine sogenannte Blende oder ein Diaphragma zur Be=

seitigung des die Deutlichkeit des Bildes beeinträchtigenden unregelmäßig zerstreuten Lichtes. Die Oeffnung desselben wird daher nur so groß genommen wie das Bild ist, d. h. = $^2/_3$ der Oeffnung der ersten Linse. Der Rand der Oeffnung der Blende ist daher zugleich die Grenze des Gesichtsfeldes.

Das Ocular wird auch zum Verschieben eingerichtet und gewöhnlich so eingestellt, daß die erste Linse um einen Betrag über den Brennpunkt des Objectivs hinaus dem letzteren genähert wird, welcher gleich der Hälfte der Brennweite der ersten Linse, also = $^1/_2$ p' ist.

Bezeichnet man mit p''' den Werth der Brennweite desjenigen einfachen Oculars, welches dieselbe Vergrößerung geben würde, wie ein Doppelocular, dessen Linsen die Brennweiten p' und p'' und den Abstand d haben, so ist:

$$69)\quad p''' = \frac{p'\ p''}{p' + p'' - d}$$

7. Beispiel: Es soll ein Doppelocular erster Classe für ein Fernrohr construirt werden, dessen Objectiv eine Brennweite von 120 Cm. besitzt, wenn die mit dem Ocular erzielte Vergrößerung = 80 sein soll.

Nach 66) ist die Brennweite der ersten Linse	=	3	Cm.
» » » zweiten »	=	1	»
Der Abstand beider Linsen	=	2	»
Der Augenabstand nach 68)	=	0,5	»
Die Oeffnung der ersten Linse	=	1,5	»
» » » zweiten »	=	0,5	»
» » » Blende	=	1	»
Der Abstand des Oculardeckels von der zweiten Linse	=	0,25	»
Ocularöffnung (im Oculardeckel)	=	0,25	»

Die Ocularöffnung 0,25 ist hier das zulässige Minimum.

Von dem aplanatischen Doppelocular zweiter Classe (Ramsden'sches Ocular).

Dieses Ocular besteht wie das vorige aus zwei planconvexen Linsen, die aber so stehen, daß die convexen Flächen der beiden Linsen einander zugekehrt sind, wie Fig. 61 erläutert. Bei Anwendung dieses Oculars fällt das von dem Objectiv erzeugte Bild F nicht zwischen beide Linsen, wie in dem obigen Oculare, sondern noch vor die erste Linse. Diese Einrichtung des Oculars gewährt den Vortheil, daß ein in seiner Stellung unveränderliches Mikrometer in dem Brennpunkte des Objectivs angebracht werden kann, was die Construction des vorigen Oculars für irdische (terrestrische) Zwecke wegen der Veränderlichkeit des zwischen die Linsen fallenden Bildpunktes F nicht gestattet.

Man berechnet die Verhältnisse dieses Oculars auf folgende Weise:

Setzt man die Brennweite des Objectivs wieder = p, die Brennweite der ersten Linse = p', die der zweiten Linse = p'', die Entfernung beider Gläser = d, die Oeffnungen beider Linsen = e' resp. e'', die Brennweite des gleichwerthigen einfachen Oculars = p''', die Vergrößerung = v, den Ort des Auges von der zweiten Linse = o, den Abstand Bildes von der ersten Linse = d', so ist:

70) $p' = \frac{2\,p}{v}$ 74) $e' = 0{,}5\ p'$
  75) $e'' = 0{,}5\ p''$

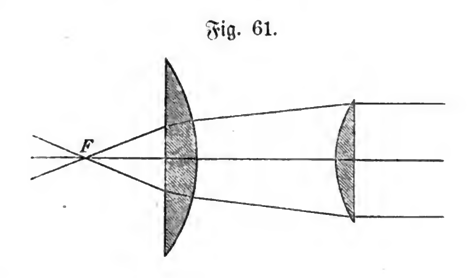
71) $p'' = 0{,}5556\ p'$ 76) $d' = 0{,}1\ p'$

72) $d = 0{,}4445\ p'$ 77) $o = 0{,}2778\ p'$

73) $p''' = 0{,}5\ p'$

Die Formeln 66) und 70) stimmen mit einander überein und drücken den Satz aus, daß p und v auch noch andere Werthe haben können, wenn nur immer der in 66) und 70) enthaltenen Bedingung genügt wird, oder mit anderen Worten: es läßt sich ein und dasselbe Ocular für verschiedene Brennweiten und Vergrößerungen des Fernrohres anwenden, wenn nur immer der Quotient aus der doppelten Objectiv-Brennweite und der Vergrößerung gleich der gegebenen Brennweite der ersten Ocularlinse ist.

Fig. 61.



Aus 76) geht hervor, daß das Bild des Objectes sehr nahe an die vordere Fläche der ersten Linse fällt, daß mithin irgend welche Fehler dieser Fläche, Staub auf derselben u. s. w. mit störender Deutlichkeit hervortreten.

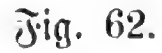
Wenn nun auch ein Ocular erster oder zweiter Classe mit möglichster Gewissenhaftigkeit und Genauigkeit nach den oben angeführten Regeln ausgeführt worden ist, so wird man dennoch nicht behaupten können, daß damit die Fehler der chromatischen und der Kugelabweichung als vollständig beseitigt zu betrachten sind; es werden immer noch kleine Beträge derselben übrig bleiben, die man nur durch Versuche noch auf ein Kleinstes zu reduciren vermag. Zu

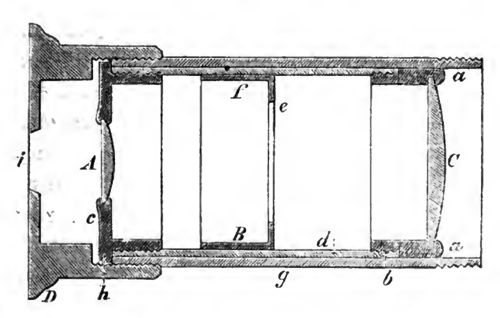
dem Zwecke faßt man jedes der beiden Gläser in je eine von zwei ineinander verschiebbaren Röhren, die man mit dem Fernrohre verbindet, bringt die Gläser in die gehörige, durch Berechnung gefundene Stellung zu einander, und betrachtet nun mit diesem vorläufig als fertiges Ocular zu behandelnden Linsenpaare das durch das Fernrohrobjectiv entworfene Bild.

Als Versuchsobject in diesem Falle, so wie auch bei allen anderen Ocular- und Fernrohrproben, kann man sich mit Vortheil einer Reihe von Gruppen aus senkrechten, parallel zu einander auf weißer Fläche gezogenen schwarzen scharfen Linien bedienen, von welchen die erste Gruppe etwa aus 8 Linien besteht, welche 5 Mm. dick sind und 5 Mm. Abstand besitzen, während die Linien der folgenden Gruppen an Dicke und Abstand von einander allmälig abnehmen, bis die letzte Gruppe aus Linien von etwa 1/2 Mm. Dicke mit 1/2 Mm. Abstand zusammengesetzt erscheint. Dieses Versuchsobject wird in großer Entfernung gut beleuchtet, und deutlich sichtbar angebracht. Bei der Beobachtung dieses Objectes durch das Fernrohr wird man nun durch Verschieben oder Verstellen der beiden Ocularlinsen gegeneinander diejenige Stellung ausfindig machen können, bei welcher das Bild am schärfsten und am wenigsten gefärbt sich darstellt. In dieser Stellung werden die Gläser unveränderlich gegeneinander zum Oculare vereinigt. Wie das zu geschehen pflegt, erläutert Fig. 62. Die Rohrtheile sind aus dünnem, gezogenem Messing; die Blende B ist an einem dünnen federnden Ring befestigt, damit sie sich durch Verschieben genau stellen läßt, und die Stellung in Folge Klemmung zwischen der Rohrwand beibehält. Die Ocularlinsen liegen etwa 1 Mm. breit mit ihrem Rande in ihrer Fassung auf, und werden durch den umgebogenen Rand a der letzteren in

ihrem Lager festgehalten. Man muß daher den Linsen eine Oeffnung geben, die etwa um $1\frac{1}{2}$ bis 2 Mm. größer, als die berechnete ist.

Zur Fassung einer Ocularlinse nimmt man ein kurzes Stück Messingrohr, welches innerlich (im Lichten) so weit ist wie die freie Oeffnung der Linse betragen soll, und eine Wandstärke besitzt, die das Ausdrehen des Lagers für die Linse und am entgegengesetzten Ende das Anbringen eines


Fig. 62.

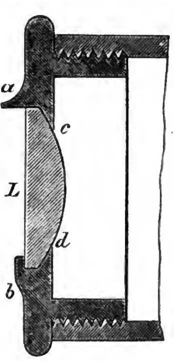


feinen flachen Schraubengewindes b (Fig. 62) gestattet. Das Einsetzen und Befestigen der Ocularlinse in der Fassung geschieht auf der Drehbank, nachdem man vorher das Schraubengewinde eingeschnitten, und das Lager der Linse in der Fassung ausgedreht hat. Nachdem die Linse eingesetzt worden, darf der nur sehr dünn gelassene Rand der Fassung höchstens 1 Mm. über den Rand der Linse hervorstehen. Man stemmt, während die Fassung sich mit der Linse dreht, den Polirstahl genügend stark gegen diesen hervorstehenden Rand, so daß derselbe sich überall gleichmäßig um-, und an die

äußere Glasfläche der Linse anlegt, um letztere in ihrem Lager unverändert festzuhalten. Dieses sogenannte »Umpoliren« muß um so vorsichtiger geschehen, je dünner der Rand der Linse ist, damit derselbe nicht etwa unter einem zu großen Drucke zerbröckelt. Gleichzeitig ist auch jede der beiden Glasflächen ängstlich vor jeder Berührung mit einem harten, spitzen Körper zu hüten. In dem Falle, wo die Linse einen beträchtlich kleineren Durchmesser hat als der Durchmesser des Rohres im Lichten, welches zu ihrer Fassung benutzt werden soll, muß dasselbe an dem Ende, an welches die Linse angebracht werden soll, mit einem Boden oder einer hinreichend starken Platte c (Fig. 62) durch Verschrauben oder Verlöthen versehen werden. Genau in der Mitte dieser Platte wird eine mit der freien Oeffnung der Linse übereinstimmende Oeffnung aus-, und an dem Rande derselben das Lager für die Linse eingedreht, so tief, daß noch ein Rand zum Umpoliren 1 Mm. hoch stehen bleibt. Damit letzterer möglichst dünn und doch fest genug zurück bleibe, muß noch rings um denselben ein Stück von der äußeren Fläche der Platte weggedreht werden. Daß das Lager für den Rand der Linse möglichst der Form der Linsenfläche angepaßt werde, ist selbstverständlich; es muß also eben für die Planfläche, abgeschrägt für die convexe Fläche des Glases sein. Eine Hauptsache ist die, daß bei allen diesen Manipulationen auf der Drehbank die Fassung stets genau centrisch läuft, d. h. daß ihre Achse mathematisch genau mit der Achse der Drehbankspindel zusammenfällt. Fig. 63 zeigt im Querschnitt bei a den noch nicht umpolirten, bei b dagegen den bereits umpolirten Rand der Fassung, welcher die Linse L in ihrem bei c und d abgeschrägten Lager festhalten soll. Die Entfernung c d muß gleich der berechneten freien Oeffnung der Linse sein.

Beide Linsen nun, die Augenlinse A (Fig. 62) sowohl, wie das Collectiv C, werden mit ihren Fassungen durch ein Rohr d zu einem Ganzen vereinigt; dies geschieht durch Einschrauben der Fassungen in die Rohrenden, die deshalb innerlich ebenfalls mit Schraubengewinden versehen sein müssen. Damit das Aus- und Einschrauben leicht und sicher von statten gehe, müssen die feinen Schraubengänge natürlich auch sehr genau und passend eingeschnitten sein, wozu große Uebung und Sicherheit gehört, wenn keine Zeit bei dieser Arbeit verloren gehen soll. Das Rohr muß ferner so lang sein, daß, wenn die Fassungen mit ihren Linsen vollständig in dasselbe eingeschraubt sind, der Abstand der Linsen genau mit dem durch Berechnung und Versuch gefundenen Abstand übereinstimmt. Ehe die Linsen in das Rohr eingesetzt werden, muß natürlich erst die Blende B ihre passende, durch Berechnung und Versuch bestimmte Stellung erhalten. Sie besteht aus einer dünnen Messingplatte mit einer Oeffnung von bestimmter Größe in ihrer Mitte. Der Rand dieser Oeffnung muß genau kreisförmig, glatt und scharf sein, damit er sich auch bei der stärksten Vergrößerung als ein, das Gesichtsfeld scharf und genau abgrenzender Kreis präsentirt, denn nichts stört mehr, als wenn zackige oder gezahnte, eingerissene Partien desselben im Gesichtsfelde sichtbar werden. Diese Platte mit der Blendöffnung e (Fig. 62) ist, wie oben schon vermerkt, in einem dünnen, federnden Rohre f befestigt, damit sie sich möglichst senkrecht zur Rohrachse in dem Rohre etwas streng hin und her verschieben läßt, bis ihre beste Lage

Fig. 63.



aufgefunden worden ist. Dieses Verschieben und Stellen der Blende kann nur wieder vermittelst eines Rohres geschehen, welches sich genau in dem Rohre verschieben läßt, welches die Blende und Linsenfassungen trägt. Es muß zu dem Zwecke an beiden Enden auf der Drehbank genau senkrecht zur Achse »abgestochen« sein, denn nur dann wird man im Stande sein, die Blende immer in senkrechter Lage verschieben zu können, also keinen einseitigen Druck auf dieselbe auszuüben.

Ist nun dies eigentliche Ocular auf oben erläuterte Weise vollendet, so muß es dann in dem Rohre g, und mit diesem an das ganze Fernrohr befestigt werden. Die Befestigung in dem Rohre g geschieht blos durch Einschieben des Rohres d von einer Seite her, und damit das Rohr d in dem Rohre g in seiner Lage unverändert festgehalten bleibt, besitzt die Fassung der Augenlinse A (Fig. 62) einen vorstehenden Rand h, welcher sich gegen den Rand des Rohres g stemmt und das weitere Hineinschieben des Rohres d in das Rohr g verhindert. Selbstverständlich muß das Rohr d sehr gut in das Rohr g passen und sich nicht locker bewegen. An dem Herausschieben wird das Rohr d durch den über das Rohr g geschraubten Oculardeckel D verhindert. Der Oculardeckel besteht ebenfalls aus einem Stück Messingrohr, welches an einem Ende mit einem Deckel und hervortretendem Rande versehen ist. In dem Deckel befindet sich die berechnete Augenöffnung. Wenn der Oculardeckel vollständig auf g aufgeschraubt ist, so muß die Augenöffnung i desselben von der Linse A die berechnete Entfernung haben. Das Eindringen von Staub und Schmutz durch die Oeffnung i verhindert man durch Anbringung eines Schiebers an der Innenseite des Deckels. Derselbe kann aus einer kleinen Metallplatte bestehen, die an einem ihrer Enden mittelst einer Schraube

um dieselbe drehbar befestigt und auf der anderen Seite mit einem von außen her mit der Daumenspitze erfaßbaren Knöpfchen versehen ist, an welchem dieser Schieber von der Oeffnung weg, oder vor dieselbe geschoben werden kann. Alle Rohrtheile, welche durch Auf- oder Losschrauben an andere Rohrtheile befestigt, oder zeitweilig von denselben getrennt werden sollen, müssen mit einem etwas hervorstehenden und genarbten oder »gefraisten« Rande zum bequemen Erfassen versehen sein.

Die, selbst bei der denkbar größten Genauigkeit der Ausführung der Oculare beider Classen, noch übrig bleibenden Rückstände von Abweichung werden, namentlich bei starken Vergrößerungen und genauen Beobachtungen, so lästig empfunden, daß man an eine weitere Vervollkommnung dieser Oculare gegangen ist, und Kellner (in Wetzlar) das sogenannte orthoskopische Ocular construirt hat. Kellner hat das gemeine Doppelocular genauen Prüfungen unterworfen, und die Mängel desselben: das krumme, nach den Rändern des Gesichtsfeldes sich verzerrende Bild, den blauen Rand des Gesichtsfeldes u. s. w. bei seinem Ocular derartig zum Verschwinden gebracht, daß der Unterschied bei der Vergleichung der Wirkungen eines älteren und eines orthoskopischen Oculars sofort in die Augen springt. Die Vorzüge des letzteren bestehen darin, daß das Bild in seiner ganzen Ausdehnung ziemlich eben erscheint, und seine Deutlichkeit in der Mitte von der am Rande sich kaum merkbar unterscheidet. Die sphärische, wie die chromatische Abweichung in der Achse der Linsen sind beseitigt, und der blaue Rand des Gesichtsfeldes ist fast vollständig gehoben. Diese Vervollkommnung gestattet auch noch ein größeres Gesichtsfeld und eine stärkere Vergrößerung, als das gewöhnliche Doppelocular.

Die Art und Weise der Construction des orthoskopischen Oculars läßt sich nur allgemein angeben. Die Augenlinse desselben ist eine achromatische Linse, und das Collectiv bildet eine biconvexe Linse, welche von der Augenlinse um die Brennweite derselben absteht.

Obgleich jetzt fast jede größere optische Industrie-Anstalt sich mit der Ausführung solcher Oculare befaßt, so hält doch jede ihre eigene Methode geheim und der neu erstehende Optiker sieht sich veranlaßt, seine eigenen Wege auf dem Gebiete der Rechnung, geometrischen Construction und des Versuches, nach demselben Ziele einzuschlagen. Es dürfte auch kaum möglich sein, von verschiedenen Constructionsweisen, sämmtliche als bekannt vorausgesetzt, eine als die beste und vollkommenste hervorzuheben, weil eben jede neben ihren Vortheilen immer noch gewisse kleine Mängel aufzuweisen hat, über deren Bedeutung die Ansichten der Beobachter verschieden sind. Ebenso verhält es sich ja auch mit den Constructionen der Objective, und man würde entschieden zu weit gehen, wenn man behaupten wollte, daß die von Herschel vorgeschriebene Construction von allen jetzt bestehenden die beste sei. Viel richtiger, und dem jetzigen Standpunkte der praktischen Optik weit angemessener würde es sein, wenn man von einer der besten Constructionen der Oculare oder Objective reden wollte.

Was übrigens — um noch einmal darauf zurückzukommen — die Construction eines orthoskopischen Oculars anbelangt, so dürfte dieselbe auf graphischem Wege, d. h. auf dem des geometrischen Zeichnens, demjenigen praktischen Optiker nicht allzuschwer fallen, welcher gut mit dem Zirkel und dem Lineal umzugehen, und auf Grund der oben (S. 12; 54) angestellten Betrachtungen mit Hilfe des gegebenen Brechungsindex und Zerstreuungsverhältnisses seines Glases oder seiner

Gläser den Gang der verschiedenen Strahlen in der Zeichnung genau anzugeben versteht. Würde er z. B. die Erscheinungen der Brechung und Zerstreuung zweier parallel in ein Doppelocular erster Classe einfallender Lichtstrahlen genau in der Zeichnung verfolgen wollen, um daraus die Fehler, z. B. den des krummen Bildes, kennen zu lernen, so würde er zunächst die Verhältnisse des Doppeloculars nach den oben gegebenen Bestimmungen berechnen, und dann das Linsenpaar nach dem gefundenen Resultate, womöglich in einem sehr vergrößerten Maßstabe, genau im Durchschnitte durch die Zeichnung darstellen müssen. Der vergrößerte Maßstab gewährt den Vortheil, die Zeichnung bequemer und genauer ausführen und verfolgen zu können. Ist der Gang der Strahlen in der Zeichnung genau wiedergegeben, so wird sich daraus wieder diejenige Richtung durch Construction verfolgen lassen, welche die Strahlen einschlagen müssen, um die Bedingungen zu erfüllen, an welche die möglichst größte Vollkommenheit geknüpft ist.

Wir haben früher schon gesehen, wie ein geeignetes Flintglas dazu benutzt werden kann, die Fehler der sphärischen und chromatischen Abweichung einer Crownglaslinse so viel als möglich zu corrigiren, und es wird nicht schwerfallen, einzusehen, wie z. B. eine geeignete Verbindung der zweiten Linse des Doppeloculars erster Classe mit einer Flintglaslinse dazu beitragen kann, die durch die Construction gefundenen Mängel des Doppeloculars abzuschwächen, oder ganz aufzuheben.

Um die Zahl der brechenden Flächen nicht zu vermehren, wird die Ocular-, und die damit zu verbindende Flintglaslinse so construirt werden müssen, daß sie sich zu einer einzigen Linse zusammenkitten lassen. Die Construction

dieses Linsenpaares wird aber von dem Gange der Lichtstrahlen abhängen, wie er sich in der Zeichnung ergiebt.

Außer dem orthoskopischen Oculare sind noch zwei verbesserte Formen zu nennen. Zunächst das periskopische Ocular von Gundlach, welches aus einer dreifachen achromatischen Augenlinse und einer doppelt convexen Collectivlinse besteht und einen vorderen wirklichen Brennpunkt besitzt. Die dreifache Augenlinse besteht aus zwei biconvexen Crownglaslinsen und einer dazwischen liegenden concaven Flintglaslinse. Der Abstand der achromatischen Augenlinse von dem Collectiv ist kleiner, als die Brennweite der Augenlinse. Das Gesichtsfeld dieses Oculars soll noch größer und ebener sein, als das des orthoskopischen Oculars, und sich besonders für das Mikrometer eignen.

Das aplanatische Ocular endlich ist wie das Ramsden'sche Ocular zusammengesetzt, nur daß beide Linsen achromatisch sind. Das Bild soll durch dasselbe fast ganz eben, sehr scharf, von Verzerrung frei, rein und hell sein.

Das sogenannte achromatische dreifache Ocular, welches noch eine bedeutende sphärische Abweichung besitzt und deshalb wenig oder gar nicht angewendet wird, übergehen wir deswegen und schreiten zur Betrachtung des aplanatischen vierfachen oder terrestrischen Oculars.

Von dem aplanatischen vierfachen Ocular.

Um sich eine klare Vorstellung von dem Gange der Lichtstrahlen durch ein solches Ocular bilden zu können, betrachte man Fig. 64, in welcher I die erste, dem Objective zugekehrte, II die zweite, III die dritte Linse oder das Collectiv, und IV die vierte Linse oder die Augenlinse ist. (Sämmt-

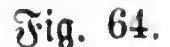
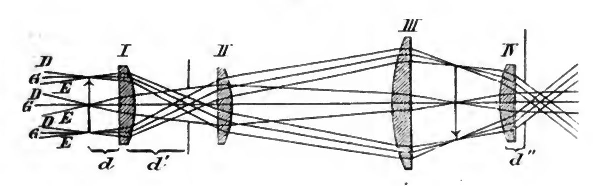


Fig. 64.



liche Linsen sind hier der Deutlichkeit halber viel zu groß gezeichnet.)

Die Strahlen D gehen parallel vom obersten, die Strahlen E parallel vom untersten und die Strahlen G parallel zur Achse von dem mittelsten leuchtenden Punkte eines in sehr weiter Ferne befindlichen Objectes aus und durch das Ocular.

Da die Construction dieses Oculars von zwölf verschiedenen Größen abhängig ist, von welchen mehrere beliebig bestimmt werden müssen, so lassen sich auch keine allgemeinen Regeln seiner Construction angeben, und man thut am besten, sich nach einem Muster zu richten, welches die guten Eigenschaften dieses Oculars in hohem Grade in sich vereinigt.

Die Maße eines solchen guten Oculars können folgende sein:

		Millim.
1.	Brennweite der Linse I	39
2.	Oeffnung » » I	15,3
3.	Brennweite der Linse II	47,8
4.	Oeffnung » » II	15,3
5.	Brennweite der Linse III	54,5
6.	Oeffnung » » III	27,3
7.	Brennweite der Linse IV	30
8.	Oeffnung » » IV	15,3
9.	Entfernung der Linse I von II	58,3
10.	» » » II von III	89,5
11.	» » » III von IV	46
12.	Entfernung des Objectiv-Brennpunktes von der ersten Linse (d in Fig. 64)	14,9
13.	Entfernung der Blende von der ersten Linse (d')	42,3
14.	Oeffnung dieser Blende	4,2
15.	Oeffnung der Blende im Brennpunkte der letzten Linse	23
16.	Entfernung des Augenortes von der vierten Linse	19,9
17.	» » Oculardeckels von der vierten Linse (d'')	9,8
18.	Oeffnung des Oculardeckels	7,5
19.	Gesichtsfeld	Hängen ab: theils von der Oeffnung der Linse I, theils von der Brennweite des Objectivs.
20.	Vergrößerung	
21.	Ocularröhrenlänge	200

Nach den Dimensionen dieses Oculars können nun diejenigen eines beliebigen anderen Oculars durch Multiplication mit einer entsprechenden Verwandlungszahl umge-

rechnet werden. Man müßte z. B. die angegebenen Werthe mit 0,75 multipliciren, wenn man die Dimensionen auf $^3/_4$ des ursprünglichen Betrages reduciren wollte. Indessen, man wird auch hier noch sicherer gehen, wenn die darnach bestimmten Ocularlinsen erst verstellbar in Röhren befestigt werden, um durch Verschieben und durch Probiren die günstigsten Stellungen zu einander ausfindig zu machen. Die Art und Weise, wie die Gläser bleibend gefaßt werden, ist schon oben (S. 107 u. 109) erläutert, und es erübrigt nur noch anzugeben, wie die geeignete Befestigung der vier Linsen zu einem Ocular zu bewerkstelligen ist. Die Befestigung der ersten und zweiten Ocularlinse des vierfachen terrestrischen Oculars in einem besonderen Rohre geschieht gerade so, wie die des Collectivs oder der dritten Linse und der Augenlinse oder der vierten Linse (Fig. 62) in dem Rohre d; ebenso das Einsetzen der dazugehörigen kleinen Blende.

Während nun das Rohr g (Fig. 62) nur so lang genommen wurde, als zur Aufnahme des Rohres d nöthig ist, muß es zur Aufnahme des zweiten Oculargläserpaares (erste und zweite Linse) so lang genommen werden, daß, wenn die zweite Röhre mit der ersten und zweiten Ocularlinse von dem anderen Ende her in dieselbe (Ocularröhre) vollständig eingeschraubt worden, die zweite und die dritte Linse genau den durch Berechnung und Versuch gefundenen Abstand erhalten. Das dem Oculardeckel entgegengesetzte Ende der gesammten Ocularröhre ist ebenfalls mit einem Schraubengewinde versehen, um dieselbe an dem Fernrohre befestigen zu können. Um alles fremde, störende, durch vielfache Reflexe hervorgerufene Licht zu beseitigen, wird das Innere des Rohres vorsichtig matt geschwärzt, was mit Hilfe von, mit Schellackfirniß gemischtem feinen Ruß geschieht, oder auch mittelst schwarzer Beize vorgenommen werden kann.

Ein einfaches günstiges Verhältniß der Brennweiten der vier Linsen eines terrestrischen Oculars in Millimeter ist folgendes:

$$I : II : III : IV = 11 : 14 : 16 : 9$$

das ihrer Entfernungen:

(I und II) : (II und III) : (III und IV) = 16,5 : 25,5 : 13,5

das ihrer Oeffnungen:

$$I : II : III : IV = 6 : 6 : 9 : 6$$

wobei 1 Mm. Randbreite für das Linsenlager mitgerechnet.

Will man mit der Construction dieses Oculars noch genauer gehen, so nehme man von den gegebenen Werthen z. B. die vier Brennweiten der Linsen und die drei Abstände derselben, und bestimme die übrigen nach folgenden Formeln:

Es seien die Brennweiten der vier Linsen der Reihe nach: p^{I}, p^{II}, p^{III}, p^{IV} und ihre Abstände d, d^{I}, d^{II}.

Man berechne zunächst:

$$A = d^{I} - \frac{(d^{II} - p^{IV})\, p^{III}}{d^{II} - p^{IV} - p^{III}}$$

dann ist der Abstand (B) des Objectivbildes von der ersten Linse:

$$B = \frac{-\left[\frac{A\, p^{II}}{A - p^{II}} - d\right] p^{I}}{-\left[\frac{A\, p^{II}}{A - p^{II}} - d\right] - p^{I}}$$

Die Entfernung der ersten Linse vom Objective, dessen Brennweite $= p$, ist sonach: $p + B$.

Man bestimme ferner:

$$C = d - \frac{(p + B)\, p^{I}}{p + B - p^{I}}$$

dann:

$$D = \frac{C \cdot p^{II}}{C - p^{II}}; \; E = d^{I} - D \text{ und}$$

endlich:

$$F = \frac{E \cdot p^{III}}{E - p^{III}}$$

so ist der Ort (G) des Auges von der letzten Linse:

$$G = \frac{-(F - p^{IV})\, p^{I}}{-(F - p^{IV}) - p^{I}}$$

Setzt man die Oeffnung e^{I} der ersten Linse $= 1$, so ist die Oeffnung der zweiten Linse:

$$e^{II} = \frac{C\,(p + B - p^{I})}{(p + B)\, p^{I}}$$

die Oeffnung der dritten Linse:

$$e^{III} = \frac{e^{II} \cdot E}{D}$$

und endlich die Oeffnung der vierten Linse:

$$e^{IV} = \frac{e^{III} \cdot (F - p^{IV})}{F}$$

Man bestimmt jetzt die Oeffnungen der übrigen Linsen, indem man:

$$e^{III} = \frac{p^{III}}{3} = \frac{e^{II} \cdot E}{D}$$

setzt. Der Werth von e^{II} stellt sich in der Ausführung zu klein heraus, als daß er benutzt werden könnte; man macht daher $e^{II} = e^{I}$ und setzt dafür zwischen die erste und zweite Linse eine Blende, deren Oeffnung

$$= \frac{(p + B)\, p^{I}\, p^{III}\, D}{3\,(p + B - p^{I})\, d\, E}$$

Die Entfernung dieser Blende von der ersten Linse ist

$$= \frac{(p + B)\, p^{I}}{p + B - p^{I}}$$

Die zweite Blende erhält einen Abstand von der vierten Linse, welcher $= p^{IV}$ ist.

Die Oeffnung dieser Blende ist: $\frac{1}{2}\, d^{III}$

Die Vergrößerung $v = \frac{(p + B)\, e^{IV}}{G\, .\, e}$ und das

Gesichtsfeld $\varphi = \frac{e^{I}\, .\, 3438}{p + B}$

Der Abstand des Oculardeckels von der letzten Linse ist $= \frac{1}{2}\, G$ und die Oeffnung des Oculardeckels $= \frac{1}{2}\, e^{IV}$

Wenn man nun bedenkt, daß das einfache terrestrische vierfache Ocular, welches aus lauter planconvexen Crownglaslinsen zusammengesetzt ist, nur in Folge der geeigneten Zusammenstellung derselben nach bestimmten Verhältnissen ihrer Brennweiten, Oeffnungen, Abständen, und unter Anwendung bestimmter Blenden in sich achromatisch und möglichst frei von sphärischer Abweichung ist, so liegt der Gedanke nicht fern, daß man vielleicht mit Hilfe von lauter achromatischen Linsen, oder wenigstens mit Hilfe einiger achromatischer Linsen dem ganzen Ocular noch eine weit größere Vollkommenheit werde verleihen können. Daß eine Menge hierauf bezüglicher interessanter Versuche dem forschenden Optiker vorbehalten bleiben, ist klar; ja er kann diese Versuche ganz systematisch vornehmen, indem er erst damit beginnt, nur eine Linse, vielleicht die Augenlinse eines bestimmten terrestrischen Oculars, dessen Verhältnisse er natürlich kennen muß, achromatisch anzufertigen und ihre Wirkung zu probiren. Nächstdem kann er den Versuch mit einem achromatischen Collectiv allein machen, während die anderen Linsen unachromatisch bleiben, und so auch mit der zweiten und ersten Ocularlinse verfahren. Hat er auf diese Weise

jede einzelne Linse auf ihre Wirkung durchprobirt, so nimmt er die achromatischen Linsen dann paarweise zusammen, z. B. die vierte und dritte, die dritte und zweite und endlich die zweite und erste. Schließlich möge er die achromatischen Linsen zu dreien, zuletzt zu vieren zusammensetzen. Dabei vergesse er auch nicht die Wirkung der Blenden zu berücksichtigen, ihre Oeffnung oder ihren gänzlichen Mangel. Jede Beobachtung registrire er genau; sie wird noch vollkommener angestellt werden können, wenn ein ganz äquivalentes, gewöhnliches, vierfaches terrestrisches Ocular stets zum Vergleich bereit liegt. Es kann nach einem solchen gewissenhaft angestellten Verfahren nicht fehlen, daß sich vielleicht noch interessante, bisher unbekannte Thatsachen herausstellen werden, und eine Construction gefunden wird, die bis jetzt Unerreichtes leistet in Bezug auf Lichtstärke, Vergrößerung, Schärfe des Bildes und Größe des Gesichtsfeldes.

Von der Vereinigung des Oculars mit dem übrigen Theil des Fernrohrs, sowie über die Art und Weise der scharfen Einstellung des letzteren auf ein bestimmtes Object siehe weiter unten.

Von dem concaven Ocular des galiläischen Fernrohrs.

Dieses Ocular ist eine Concavlinse, deren Wirkung in Verbindung mit dem Fernrohrobjectiv aus Fig. 65 deutlich zu erkennen ist, wo wiederum die Strahlen D von dem obersten, die Strahlen E von dem untersten, und die Strahlen G von dem mittelsten leuchtenden Punkte eines

[illegible]



[illegible] werden muß, wenn [illegible] Öffnung der [illegible]

[illegible]

[illegible] Vergrößerung, [illegible] als Taschen- [illegible] doppelt für beide

Augen zusammengestellt, verwendet. Die Oeffnungen der Objective und Oculare kann man ziemlich groß nehmen, doch letzteres nicht größer, als höchstens 0,6 seiner Brennweite. Die Objective werden den bekannten Regeln entsprechend auch achromatisch angefertigt, doch gewöhnlich so, daß die Flintglaslinsen außen plangeschliffen und die übrigen Krümmungshalbmesser dementsprechend geändert werden. Ja, man kann, wie das auch geschieht, die Vervollkommnung eines solchen Fernrohrs noch weiter treiben, indem man die Oculare achromatisch herstellt, oder überhaupt Linsensysteme construirt, wodurch die Aufhebung der beiden bekannten Abweichungen möglichst vollständig, sowie ein großes Gesichtsfeld und bedeutende Lichtstärke erreicht werden.

Die Construction einer achromatischen Hohllinse muß nach denselben Principien vorgenommen werden, wie die eines Objectivs, nur mit dem Unterschiede, daß die Crownglaslinse concav und die Flintglaslinse convex hergestellt wird.

Eine zehnfache Vergrößerung ist für ein, selbst sehr gut ausgeführtes, mit achromatischem Ocular versehenes galiläisches Fernrohr schon eine sehr starke Vergrößerung, welche bereits kein großes Gesichtsfeld mehr gestattet.

Andere Fernrohr-Constructionen.

Man hat schon bei Zeiten, namentlich wo es noch als eine der größten Schwierigkeiten galt, größere Stücke fehlerfreien Glases herzustellen, sich nach anderen Hilfsmitteln umgesehen zur Anfertigung möglichst vollkommener dioptrischer Fernrohre. So

construirte damals schon Dr. Blair aplanatische Objective unter Anwendung von Flüssigkeiten, besonders des Terpentinöls, und erreichte damit eine große Vollkommenheit in der Aufhebung beider Abweichungen. Allein diese Vollkommenheit blieb in dem Maße schwankend, als die Brechungsverhältnisse der Flüssigkeiten in Folge der Temperaturveränderungen fortwährend wechselten. Man hat auch in neuerer Zeit wieder dahinzielende Versuche mit günstigerem Erfolge angestellt, es wird jedoch das Glas als der alleinige optische Bestandtheil des Fernrohrs seiner großen Beständigkeit wegen immer den Vorrang vor anderen Substanzen behaupten.

Dieselbe Schwierigkeit, — die übrigens den neueren verbesserten Darstellungsmethoden zufolge heutigen Tages nicht mehr existirt — größere Scheiben fehlerfreien Flintglases herzustellen, veranlaßte Littrow zur Construction seiner sogenannten dyalitischen Fernröhre, wobei er die korrigirende Flintglaslinse nicht unmittelbar an die vordere Crownglaslinse fügte, sondern in einem bedeutenden Abstand hinter dieselbe setzte, in Folge dessen sie nur einen Durchmesser zu haben braucht, welcher gleich dem des von der vorderen Crownglaslinse gebildeten Strahlenkegels an dieser Stelle ist. Der Durchmesser dieser Flintglaslinse wird sich sonach zu dem der Crownglaslinse gerade so verhalten, wie der Abstand der Flintglaslinse vom Brennpunkte der Crownglaslinse zur Brennweite der letzteren. Da aber bei dem gegenwärtigen Zerstreuungsverhältniß zwischen Crown- und Flintglas durch eine solche Construction die Länge des Fernrohrs nur zunehmen würde, was ja wieder ein Nachtheil wäre, so stellte Littrow an die Glasschmelzereien die Aufgabe, Glassorten mit viel größerem Zerstreuungsverhältniß herzustellen. Da letzteres noch nicht gelungen war, so hatte man (be-

sonders Plößl in Wien) die Flintglaslinse durch eine Doppellinse aus Crown- und Flintglas ersetzt und dyalitische Fernröhre construirt, mit deren Leistungen man zufrieden sein kann.

Auch hier wird es nicht uninteressant sein, noch weitere Versuche über die Wirkung von Objectiven anzustellen, die aus, in gewissen Abständen von einander entfernten, theils unachromatischen Linsen, theils achromatische Linsenpaaren bestehen, besonders mit Berücksichtigung der neuen in der optischen Glasschmelzerei in Jena erfundenen vorzüglichen Glassorten.

Da man weiß, daß das Maximum der chromatischen wie der sphärischen Abweichung erst im Brennpunkte einer biconvexen Linse oder in der Nähe desselben innerhalb bestimmbarer Grenzen zum Ausdruck kommt, so liegt der Gedanke nahe, daß es möglich sein müsse, ein Fernrohr herzustellen, dessen Objectiv nur eine Crownglaslinse (vielleicht von der besten Form) und dessen Ocular so zu construiren ist, daß mit Hilfe desselben die beiden Abweichungen des Objectivs möglichst beseitigt werden. Während also bei den älteren Achromaten das Hauptaugenmerk auf die Construction des Objectivs zu richten ist, würde dasselbe hier auf die des Oculars zu richten sein. Wir haben oben bereits gesehen, wie vielerlei Ocularconstructionen existiren, von welchen jede ihre besonderen Vorzüge besitzt, und es wird sicher einem gewandten Optiker möglich sein, wieder eine neue Construction aufzufinden, welche die Fehler des Objectivs möglichst vollständig vernichtet. In der That scheint den neuesten Berichten zufolge dies bereits dem Prof. Hasert in Eisenach gelungen zu sein. Er hat Fernröhre mit Crownglas-Objectiven hergestellt, deren Fehler durch entsprechende Oculare gehoben werden. Es ist das aber nicht der alleinige Vortheil,

indem auch der Durchmesser des Objectivs mehr als das Doppelte, die Helligkeit also mehr als das Vierfache der gewöhnlichen Achromaten beträgt. Die auf mehr als die Hälfte verminderte Brennweite des Objectivs und das vielleicht auf ein Fünftel reducirte Gewicht desselben sind ganz eminente Vortheile, ganz abgesehen von der damit verbundenen Preiserniedrigung.

Man wird sich von der Lichtstärke eines solchen Fernrohrs eine Vorstellung machen können, wenn man erwägt, daß ein solches von 32 Cm. Brennweite eine Objectivöffnung von 8 Cm. besitzt, während ein gewöhnlicher Achromat (nach Reinfelder & Hertel) eine solche Oeffnung erst bei 81 bis 130 Cm. Brennweite erhalten kann. Es wird also ein solches Fernrohr sich für lichtschwache Objecte, in der Astronomie zur Beobachtung von Kometen, kleiner Planeten, Trabanten u. s. w. ganz vorzüglich eignen.

Es wäre daher mit der Construction dieses neueren Fernrohrs das Problem gelöst, ein Fernrohr herzustellen, von welchem nicht jeder, oder wenigstens ein Theil für sich aplanatisch, sondern welches in sich als Ganzes aplanatisch, und demnach wieder so eingerichtet ist, daß die Anforderungen, welche man an ein gutes Fernrohr stellt, sich nicht in der Weise gegenseitig beschränken, wie dies beim älteren Achromaten der Fall ist.

Wir kommen jetzt zu der ausführlichen Besprechung der Art und Weise, wie das Ocular mit dem übrigen Fernrohr verbunden zu werden pflegt. Man hat im Allgemeinen zweierlei Fernröhre hinsichtlich der Rohr-Construction zu unterscheiden, und zwar sogenannte Tuben und Zugfernröhre. Die Tuben bestehen aus einem einzigen Rohre, welches an dem einen Ende das Objectiv, an dem anderen die Ocularröhre trägt, während das Zugfernrohr aus einer Menge

ineinander zusammenschiebbarer einzelner Röhren oder Züge besteht, von welchem das weiteste Rohrstück das Objectiv enthält, das engste Rohrstück dagegen die Ocularröhre bildet. Diese letztere Construction dient, wie leicht ersichtlich, dazu, das Instrument in eine für den Transport möglichst handliche Form zu verwandeln.

Da bei einem Fernrohr die gute Wirkung desselben wesentlich davon abhängt, daß die Achse desselben eine mathematisch genau gerade Linie bildet, und die Achsen der einzelnen darin vorkommenden Linsengläser genau mit der Rohrachse zusammenfallen, so geht hieraus hervor, wie wichtig es ist, daß die einzelnen Züge eines Zugfernrohrs völlig gerade seien und, sie mögen nun mehr oder weniger ausgezogen oder zusammengeschoben sein, ihre einzelnen Achsen die gerade Achse des Rohres bilden. Das ist hier schwieriger zu erreichen, als bei den sogenannten Tuben, weshalb man zu optischen Meßinstrumenten immer letztere Form zu nehmen pflegt; es ist das erstere deshalb schwieriger, weil die einzelnen Züge, ihre genaue Ausführung (gewöhnlich in Messing, seltener in Neusilber, Aluminium 2c.) vorausgesetzt, an denjenigen Stellen, wo sie aneinander stoßen, sich bequem, also nicht zu streng verschieben lassen, daher einen gewissen Spielraum zwischen ihren Wänden besitzen müssen, der nicht blos einmal, sondern mehrmals (je nach der Anzahl der Züge) an ein und demselben Fernrohr vertreten ist und daher wesentlich dazu beiträgt, daß bei dem Beobachten mit einem solchen Fernrohr immer eine, wenn auch nur geringe Biegung der Fernrohrachse stattfindet. Der Grad dieser Biegung wird übrigens vorwiegend davon abhängen, wie das Rohr beim Halten unterstützt wird; sie wird am schwächsten sein, wenn das Rohr mit beiden Händen, und zwar etwa in $^1/_3$ der Länge von jedem Ende an gerechnet, sie wird am stärksten

sein, wenn das Rohr mit nur einer Hand (vielleicht gar an der Ocularröhre) gehalten wird. Man sieht also, wie viel darauf ankommt, durch genaue Construction der Züge und ihrer Fassungen diesen Fehler der Achsenkrümmung auf ein Minimum zu reduciren.

Die Züge sind, wie schon erwähnt, meist messingene, auf einer Ziehbank möglichst dünn (bis zu 1/4 Mm. Wandstärke) gezogen und dadurch zugleich gehärtete Röhren von 7 bis 20 Cm. Länge (je nach der Größe des Rohres) und von einem Durchmesser, welcher von dem der Ocularröhre an allmälig bis

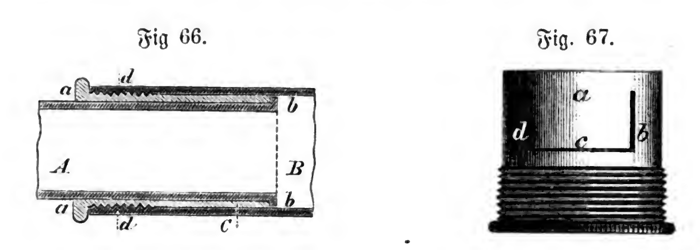


Fig 66. Fig. 67.

zu dem der Objectivröhre zunimmt. Die Stelle, wo je zwei Züge ineinander stoßen, vergegenwärtigt Fig. 66 im Durchschnitt und im vergrößerten Maßstabe. Der Zug A erscheint hier soweit als möglich aus dem Zuge B hervorgezogen, er kann nicht noch weiter sich nach außen hin verschieben, denn er stößt mit dem etwas vorstehenden Rande b gegen den Rand des kurzen Rohres C, in welchem sich das Rohr A verschieben läßt. Das Rohr C ist in den Zug oder in das Rohr B durch das Gewinde d fest eingeschraubt und besitzt bei a einen genarbten, hervorstehenden Rand. Damit das Rohr A sich möglichst sicher und ruhig in dem Rohre oder der Zugfassung C hin und her verschieben läßt, darf der Spielraum zwischen A und C nur sehr gering, aber doch nicht in dem

Grade gering sein, daß das Verschieben nur unter großer Kraftanstrengung erfolgen kann. Um daher die richtige Mitte zwischen einem zu locker und einem zu streng Gehen zu erlangen, schneidet man an zwei entgegengesetzt liegenden Stellen der Wand des Rohres C zwei Stücke derselben lappenförmig aus, wie a in Fig. 67, welche die Fassung C von außen gesehen darstellt. Der Lappen a ist also durch die drei rechtwinkelig zueinander geführten Schnitte b, c und d von der übrigen Rohrwandung getrennt, mit welcher er nur blos an der vierten Seite noch zusammenhängt. Ihm gegenüber liegt auf der anderen Seite des Rohres ein zweiter gleich großer Lappen. Faßt man beide gleichzeitig mit dem Zeigefinger und Daumen und drückt sie ganz schwach nach dem Innern des Rohres, so bilden sie zwei sehr wenig nach dem Innern der Fassung C (Fig. 66) hineinragende Federn, welche den Zug A etwas fester klemmen und in seiner, ihm gegebenen Lage festhalten.

Ueber die Fassung des Objectivs lese man weiter unten. Das letzte Rohrstück, welches das Objectiv trägt, pflegt man häufig mit einem ganz dünnen Fournier aus Mahagoni, oder mit Leder zu überziehen. Das Einstellen eines solchen Zugfernrohrs auf den zu beobachtenden Gegenstand geschieht also nur vermittelst des Verschiebens der einzelnen Züge desselben, während es mit beiden Händen vor das Auge in der Richtung nach dem Gegenstande hin gehalten wird, so lange, bis das Bild in vollständiger Klarheit und Schärfe sich dem Auge präsentirt.

Ein schärferes, bequemeres und sichereres Einstellen des Fernrohrs auf einen bestimmten Gegenstand geschieht aber mittelst einer sogenannten Stellschraube. In Wirklichkeit besteht diese Vorrichtung nicht etwa aus einer Schraube, sondern aus einem gezahnten Stahlrädchen mit etwa 8 bis 10

Zähnen, welches auf einer stählernen, mit einem kreisrunden, am Rande genarbten Kopfe versehenen Achse sitzt, und mit seinen Zähnen in die Zähne einer Zahnstange eingreift. Denkt man sich, das Rohr B in Fig. 66 bilde das dem Objective entgegengesetzt liegende Fernrohrende, A dagegen die Ocularröhre, so muß sich die letztere natürlich, je nach der Entfernung des zu beobachtenden Gegenstandes, weiter in das Rohr B hineinschieben, oder weiter aus demselben herausziehen lassen können, wenn man das Object deutlich erkennen will; die Ocularröhre muß weiter aus dem Hauptrohre B herausgezogen werden, wenn der Gegenstand nahe liegt, sie muß weiter in B hineingeschoben werden, wenn der Gegenstand weiter entfernt ist. Die äußersten Grenzen aufzufinden, innerhalb welcher diese Verschiebung möglich sein soll, ist nicht schwer. Man braucht nur zunächst das Fernrohr auf ein Gestirn, z. B. auf den Mond scharf einzustellen, und die Stellung der Ocularröhre sich genau anzumerken, dann auf einen sehr naheliegenden Gegenstand, den auch das kurzsichtigste Auge ohne Glas noch deutlich genug erkennen kann, und dann auch diese Stellung der Ocularröhre auf der Außenfläche mit einer Metallspitze einzugraviren. Diese beiden Marken geben die Grenzen an, innerhalb welcher die Einstellung des Oculars möglich sein muß, ihre Lage bezeichnet zugleich die Lage, und ihr Abstand das Maß der Länge der hier anzuwendenden Zahnstange. Gewöhnlich nimmt man letztere noch etwas, und zwar um 1 Cm. länger, und bringt sie so an der Ocularröhre an, daß sie um $^1/_2$ Cm. über beide Grenzen hinausreicht. Um diese Zahnstange, welche ebenfalls am besten aus Stahl anzufertigen ist, an der Ocularröhre zu befestigen, muß sie an der oben bezeichneten Stelle in einen parallel mit der Rohrachse verlaufenden, in der Wandung angebrachten Schlitz, mit den Zähnen nach

außen gekehrt, so tief eingelassen und mit ihren Enden durch Schrauben befestigt werden, daß die Zähne über der Außenfläche der Ocularröhre so weit hervorragen, als nöthig ist, um sie von den Zähnen des Zahnrädchens oder Getriebes genau und scharf fassen zu können. Das letztere wird nicht weit vom Rande a in der Wandung des Rohres B eingelassen und in seinem Lager durch eine geeignet geformte Kapsel oder einen Deckel, welcher fest aufgeschraubt wird, fixirt. Seine Achse muß natürlich hinreichend stark und einerseits so lang sein, daß der mit ihrem Ende verbundene, zum Erfassen mit den Fingern bestimmte Schraubenkopf seitlich vom Rohre B noch bequem Platz findet. Die Fassung C (Fig. 66) kann natürlich dann nicht mehr die in der Zeichnung angedeutete Form haben, weil sonst der nöthige Spielraum für das Triebwerk verloren gehen würde. Auch müssen aus demselben Grunde die beiden Durchmesser der Röhren A und B wesentlich mehr verschieden sein. Um dem Rohre A eine sichere Führung zu geben, befestigt man durch Verlöthen in dem Rohre B, und zwar am Rande bei a und in einem Abstande davon von ungefähr 6 Cm. weiter innerhalb von B zwei 5 bis 6 Mm. breite Metallringe, deren Dicke dem Spielraum entspricht, welcher zwischen der Außenfläche der Ocularröhre A und der Innenfläche des Hauptrohres B bestehen soll, damit das Triebwerk bequem in Bewegung gesetzt werden kann.

Beide Ringe sind also im Lichten so weit, daß sich die Ocularröhre in ihnen ohne große Reibung verschieben läßt; sie müssen ferner beide genau in der Richtung, in welcher das Zahnrädchen mit seinen Zähnen durch das Rohr B hindurch in die Zähne der Zahnstange greift, Einschnitte besitzen, innerhalb welcher die Zahnstange sich mit der Röhre A zugleich bewegen lassen soll.

Da das Getriebe nur von einer Seite des Rohres B in die Zahnstange eingreift, und somit einen einseitigen Druck von dieser Seite her auf das Rohr A ausübt, so sucht man diesem Drucke von der entgegengesetzten Seite her auf die Weise zu begegnen und die Bewegung der Ocularröhre so zu reguliren, daß man eine schwach gebogene Messingfeder auf der dem Getriebe entgegengesetzten Seite des Rohres B innerhalb des Spielraumes zwischen den oben genannten beiden Führungsringen einlegt. Dieselbe preßt mit einem genügenden Gegendrucke die Röhre A gegen das Getriebe. Das Objectiv pflegt man gewöhnlich durch einen Metalldeckel gegen äußere schädliche Einflüsse zu schützen. Derselbe besteht aus einem Stück Rohr, welches sich gerade über den Rand der Objectivfassung mit einiger Reibung schieben läßt, und an einer Seite mit einer Platte geschlossen ist. Das Rohrstück des Deckels kann auch wie die Zugfassungen federnd eingerichtet werden, indem man dasselbe an einigen symmetrisch gelegenen Stellen mit Einschnitten versieht.

Wie oben schon erwähnt, pflegt man das galiläische Fernrohr meist in der Form der Theater-Perspective, Operngläser, Militär-Fernröhre u. s. w. als Doppelfernrohr herzustellen. Man verbindet zu diesem Zwecke zwei einfache galiläische Fernröhre von ganz gleichen optischen Verhältnissen so mit einander, daß ihre Achsen parallel liegen und so weit abstehen, als der Augenabstand beträgt. Da der letztere natürlich bei verschiedenen Individuen sehr schwankt, so richtet man die besseren Gattungen so ein, daß mittelst der in dem, beide Röhren verbindenden Gestell enthaltenen Charniere oder Gelenke ein gleichförmiges Biegen desselben und dadurch ein Näher- oder Weiterstellen beider Fernröhre möglich ist, je nach der Größe des Augenabstandes. Jedes einzelne Fernrohr besteht gewöhnlich aus einem Hauptrohre

mit dem Objective und aus einem Zugrohre mit dem Ocular. Die beiden Hauptrohre sind durch zwei Metalltheile fest verbunden, ebenso die Ocularröhre durch einen solchen Theil, dessen Mitte eine mit steilem Schraubengange versehene Schraube enthält, die in einer zwischen den die beiden Hauptrohre zusammenhaltenden Metallstücke befestigten Mutter geht. Schraube und Mutter liegen genau parallel zu den beiden Fernrohrachsen, und sind mit einem Schraubenkopfe versehen, den man mit dem Daumen und Zeigefinger nur zu erfassen und zu drehen nöthig hat, um die scharfe Einstellung zu bewerkstelligen.

Das dioptrische Mikroskop.

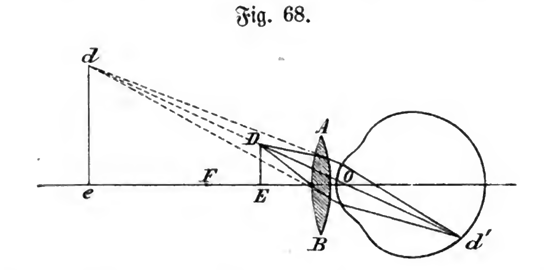
Wie dem Fernrohre die Aufgabe zufällt, weit entfernte Gegenstände näher an das Auge heranzurücken, so daß dieselben klar und deutlich gesehen werden können, so dem Mikroskope die Bestimmung, sehr kleine, von dem Auge kaum oder gar nicht wahrnehmbare Gegenstände so stark zu vergrößern, daß ihr Erkennen in möglichst vollkommenem Grade möglich ist.

Gewöhnlich pflegen wir Gegenstände, deren Sehwinkel weniger als 30 Secunden betragen, in der deutlichen Sehweite nicht mehr gut zu unterscheiden und deshalb möglichst nahe an das Auge heranzubringen, um sie besser zu sehen. Die dadurch erzielte Vergrößerung des Sehwinkels hat aber in Folge der unvollkommenen Accommodationsfähigkeit des Auges ihre Grenze. Wird dieselbe überschritten, so kann das

Auge nicht mehr deutlich sehen, d. h. es kommt auf der Netzhaut desselben kein vollkommenes Bild des Objectes zu Stande. Wenn man aber eine Linse anwendet, welche die von einem kleinen Gegenstande ausgehenden Strahlen so convergent macht, daß sie, in das Auge tretend, die Wirkung hervorrufen, als gingen sie von einem entfernteren Punkte aus, so wird auch die Wahrnehmung des kleinen Gegenstandes, d. h. die Entstehung seines Bildes auf der Netzhaut möglich sein.

Ist A B (Fig. 68) eine dicht vor dem Auge O befind-

Fig. 68.



liche Sammellinse, F ihr Brennpunkt, D E ein sehr kleines Object und O e die deutliche Sehweite, so werden die von dem Punkte D sehr divergent ausgehenden Lichtstrahlen von der Linse so gebrochen, als ob sie, eine geeignete Stellung des Objectes D E zu A B vorausgesetzt, von dem in deutlicher Sehweite befindlichen Punkte d ausgingen. In diesem Falle müssen sie sich dann im Punkte d′ der Netzhaut zu einem Bilde vereinigen, ebenso auch alle übrigen von D E ausgehenden Lichtstrahlen.

Das einfache Mikroskop.

Eine Sammellinse, welche die vorhin geschilderte Eigenschaft hat, und deren Brennweite etwa 25 bis 50 Millimeter beträgt, also bedeutend kleiner als die deutliche Sehweite ist, nennt man eine Loupe.

Auch bei dem Mikroskope bilden, wie beim Fernrohr, die Vergrößerung, das Gesichtsfeld und der Grad der Helligkeit des Bildes die wichtigsten Eigenschaften.

Es sei A B in Fig. 69 eine Sammellinse, D E ein innerhalb ihrer Brennweite befindlicher kleiner Gegenstand, so werden die von dem Punkte D ausgehenden Strahlen durch die Linse so gebrochen, als ob sie, wie oben schon dargethan, von dem in deutlicher Sehweite befindlichen Punkte d ausgingen. Dasselbe geht mit den von E kommenden Strahlen vor sich, die nach ihrer Brechung rückwärts verlängert, sich in e schneiden, so daß d e das vergrößerte Bild von D E ist. Um nun die Größe des Winkels ψ, unter welchem d e dem Auge erscheint, beurtheilen zu können, muß man sich die Dicke der Linse gering, und letztere bis fast zur Berührung an das Auge gerückt denken; es fällt dann der optische Mittelpunkt M der Linse mit dem vorderen Punkte O des Auges nahe zusammen, so daß man ihren Abstand vernachlässigen kann. Der Winkel, unter welchem d e von M aus gesehen erscheint, ist demjenigen gleich, unter welchem D E gesehen wird; denkt man sich nun D E in die deutliche Sehweite nach $D^1 E^1$ versetzt, so ist $\sphericalangle D^1 M E^1 = \varphi$ derjenige, unter welchem der Gegenstand selbst in der deutlichen Sehweite dem Auge sich darstellt, während $\sphericalangle d M e = \psi$ der-

jenige Winkel ist, unter welchem das Bild dieses Gegenstandes dem Auge erscheint.

Es ist daher die mit der Linse erreichte Vergrößerung

$$v = \frac{\sphericalangle\, d\,M\,e}{\sphericalangle\, D^1\,M\,E^1} = \frac{\sphericalangle\, D\,M\,E}{\sphericalangle\, D^1\,M\,E^1}$$

Fig. 69.

also:

79) $$v = \frac{\omega}{\varphi}$$

denn $\tan \frac{1}{2}\,\omega = \frac{D\,G}{G\,M}$ und $\tan \frac{1}{2}\,\varphi = \frac{D^1\,g}{g\,M}$. Da die Winkel ω und φ in der Wirklichkeit sehr klein sind, so können statt der Tangenten die Bogen gesetzt werden; und dividirt man mit letzterer Gleichung in erstere, so erhält man:

$$\frac{\tan \frac{1}{2} \psi}{\tan \frac{1}{2} \varphi} = \frac{\psi}{\varphi} = \frac{D\,G\,.\,g\,M}{G\,M\,.\,D^1\,g}$$

oder, da $D^1\,g = D\,G$:

80) $$\frac{\psi}{\varphi} = \frac{g\,M}{G\,M} = \frac{d}{a}$$

wenn a die Entfernung des Objectes von der Linse, respective vom Auge, und d die deutliche Sehweite bedeutet.

Aus Formel 23) (S. 39) ergiebt sich, wenn wir für $m\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right) = \frac{m\,(R + r)}{R\,r}$ den in 25) enthaltenen Werth p substituiren:

81) $$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p}$$

Multiplicirt man diese Gleichung mit d und nimmt man $\frac{1}{\alpha}$ oder, was hier dasselbe ist, $\frac{1}{d}$ negativ, weil die Strahlen divergirend austreten, so wird:

$$\frac{d}{a} - \frac{d}{\alpha} = \frac{d}{p}$$

oder:

$$\frac{d}{a} - 1 = \frac{d}{p}$$

daher:

$$\frac{d}{a} = \frac{d}{p} + 1$$

mithin:

82) $$v = \frac{d}{p} + 1$$

Man nennt diese Vergrößerung die lineare zum Unterschiede von der nach der Fläche angeführten.

Je größer der Brechungsindex einer durchsichtigen Substanz ist, eine desto stärkere Vergrößerung wird auch eine mit denselben Krümmungsradien daraus verfertigte Linse haben. So würde z. B. eine diamantene Linse eine 2,7 mal stärkere Vergrößerung gewähren, als eine Glaslinse von denselben Dimensionen.

Bezüglich der Vergrößerung, der Helligkeit und Größe des Gesichtsfeldes, der Abweichung wegen der Kugelgestalt und der chromatischen Abweichungen lassen sich hier wieder analoge Betrachtungen anstellen, wie beim Fernrohre.

Die Linse von der besten Form, respective die plan-convexe Linse, wird bei der Loupe eine Hauptrolle spielen müssen. Die Klarheit und Reinheit des Bildes wird auch wesentlich von der Vollkommenheit abhängig sein, in welcher die Flächen der Linsen hergestellt werden.

Die Helligkeit, mit welcher das Bild erscheint, ist abhängig von dem Grade seiner Erleuchtung und von der Oeffnung der Loupe, während das Gesichtsfeld durch die Linsendicke und den Abstand des Auges von der Linse bedingt wird, und mit der Vermehrung der Vergrößerung abnimmt.

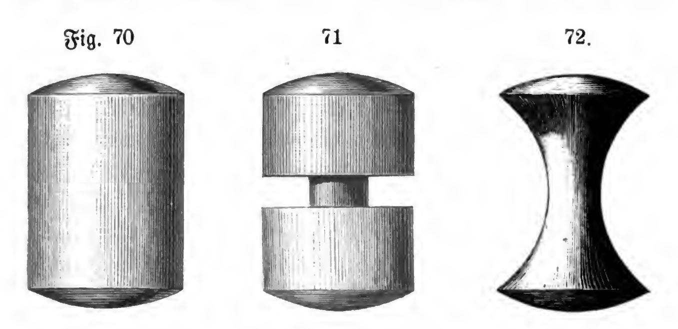
Man hat, um den Loupen noch vollkommenere Eigenschaften zu geben, verschiedene Constructionen ersonnen, die in den zusammengesetzten Loupen vertreten sind. Fig. 70 zeigt die Cylinder-Loupe (im vergrößerten Maßstabe, wie auch die folgenden), aus einem Glascylinder mit sphärischen Grundflächen bestehend, von welchen die schwächer gekrümmte Fläche dem Objecte zugekehrt wird.

Die Brewster'sche Loupe (Fig. 71) und die Coddington'sche Loupe (Fig. 72) beruhen auf dem Principe der Cylinderloupe, nur daß hier mehr die eigentlich wirkenden Centralstrahlen zur Geltung kommen. Die Fraunhofer'sche

Loupe (Fig. 73) ist aus zwei planconvexen Linsen zusammengesetzt.

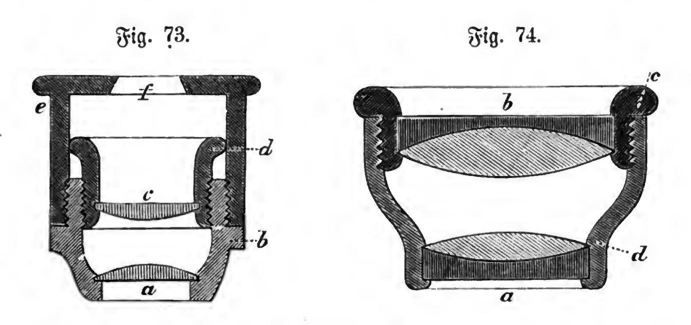
Die Linse a, in dem Rohre b angebracht, ist mit der im Rohre d befestigten Linse c so vereinigt, daß beide mit

Fig. 70 71 72.



ihren convexen Flächen einander zugekehrt sind. Ihr Abstand hängt natürlich von der Größe ihrer Brennweiten ab und

Fig. 73. Fig. 74.



von der Stellung zu einander, in welcher sie die stärkste Vergrößerung und das richtigste Bild von dem Objecte geben.. Diese Stellung, oder ihr Abstand von einander wird am besten praktisch durch Versuche bestimmt, indem man, wie

bei den Versuchen mit dem Ocular eines Fernrohres, zwei ineinander verschiebbare Röhren benutzt, und in jeder eine Linse genau centrisch befestigt, so daß sie streng in derselben Achse einander genähert oder von einander entfernt werden können. Beide Linsen a und c werden nun mit ihren Fassungen b und d dem gefundenen Abstand entsprechend vereinigt, und durch Verschrauben in der mit der Augenöffnung f versehenen Fassung e befestigt. Die Brück'sche Loupe (Fig. 74) besteht aus zwei mit ihren convexen Seiten einander zugekehrten achromatischen Linsen a und b. Die Linse b ist mit ihrer Fassung c in die Fassung d der Linse a von einer Seite her eingeschraubt, ebenfalls in einem vorher durch Versuche gefundenen günstigsten Abstande. Sehr häufig pflegt man zu den Fassungen der Loupen schwarz gebeiztes Horn oder Hartgummi zu nehmen, weil dieselben mit den Fingern fortwährend angegriffen und gehalten werden, was, wenn sie von Metall wären, sehr bald eine Orydation und Beschmutzung ihrer Oberfläche zur Folge haben würde.

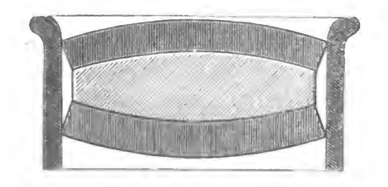
Steinheil hat eine aplanatische Loupe construirt, welche aus einem doppeltconvexen Crownglase (Fig. 75) und zwei symmetrischen Menisken aus leichtem Flintglas zusammengesetzt ist. Die Bilder, welche diese Loupe giebt, sind über das ganze Gesichtsfeld vollkommen eben, unverzerrt und frei von chromatischer Abweichung.

Die Fassung der Loupe muß immer so eingerichtet sein, daß man das Auge der Ocularlinse so viel wie möglich nähern darf.

Für Taschenloupen eignet sich ganz besonders die Form der gewöhnlichen Lorgnetten. Zwei, drei, auch noch mehr planconvexe Linsen sind dabei, je eine für sich, in eine Platte von Horn gefaßt, welche sich sämmtlich an ihren Stielen um eine gemeinschaftliche, die beiden Deckplatten des Griffes an

einem Ende festhaltende Niete drehen, und beim Nichtgebrauche in diesen Griff einschlagen, beim Gebrauche dagegen einzeln oder paarweise oder zu dreien mit einander vereinigen lassen. Je mehr Linsen benutzt werden, desto stärker ist die damit gewonnene Vergrößerung; es ist daher nöthig, daß bei der Anfertigung solcher Fassungen darauf geachtet werde, daß bei der gleichzeitigen Anwendung von zwei oder mehr Linsen einer solchen Loupe dieselben nur in der Weise übereinander geschoben werden können, daß ihre Achsen in eine einzige Achse zusammenfallen. Gewöhnlich

Fig. 75.



trennt man je zwei aufeinanderfolgende Linsen noch durch einen Schieber, welcher eine Blendöffnung zur Abhaltung störender Lichtreflexe besitzt, die nach Belieben zwischen die zu benutzenden Linsen geschoben, aber auch unbenutzt gelassen werden kann.

Das zusammengesetzte Mikroskop.

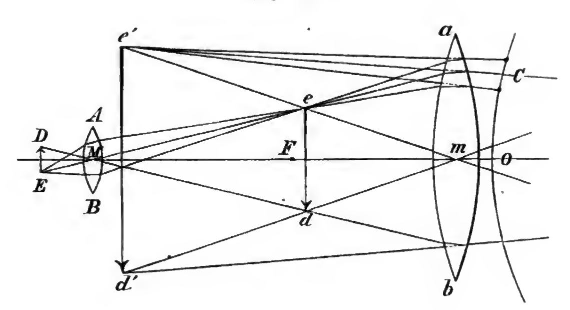
Das zusammengesetzte Mikroskop hat den Zweck, eine noch weit stärkere Vergrößerung zu erreichen, als etwa über 30, wie sie mit der Loupe möglich ist, und auch noch andere Mängel, wie die der beiden Abweichungen, des kleinen Gesichtsfeldes, der geringen Helligkeit u. s. w. zu mildern oder ganz zu heben. Trifft man die Einrichtung so, daß das von einem einfachen Mikroskop entworfene vergrößerte Bild durch eine zweite vergrößernde Sammellinse betrachtet, also noch einmal vergrößert werden kann, so werden die soeben genannten Mängel gemildert, zum Theil zum völligen Verschwinden gebracht; es ist sonach diese Einrichtung ein zusammengesetztes Mikroskop, und zwar eines von der einfachsten Form.

Man betrachte Fig. 76, wo D E wieder ein sehr kleines Object bedeuten möge, welches nahe am Brennpunkte des Objectivs A B, aber noch außerhalb der Brennweite steht. Die von E ausgehenden Strahlen, welche in die Linse A B treten, werden von derselben so gebrochen, daß sie sich in dem Punkte e schneiden, dann über denselben hinaus die Linse a b treffen, und von derselben nach dem Auge O so hingelenkt werden, daß dasselbe das erste Bild e des Punktes E in der deutlichen Sehweite e' erblickt. Auf dieselbe Weise werden sich die Bilder d und d' des Punktes D entwickeln. Damit das Auge das Bild e d in der deutlichen Sehweite e' d' wahrzunehmen vermöge, muß e d innerhalb der Brennweite der Linse a b sehr nahe am Brennpunkte derselben entstehen. Die Linie m e' kann als parallel zu C e' angesehen werden, weil ∢ C e' m sehr klein ist, woraus

dann folgt, daß der Winkel, unter welchem das Auge das Bild e' d' sieht = ∢ d' m e' ist.

Die Größe des Gesichtsfeldes muß ganz wie beim Fernrohr von der Oeffnung des Oculars abhängig sein, daher durch den ∢ D M E bestimmt werden. An Stelle des Bildes e d pflegt man zur Fernhaltung alles unregelmäßig zerstreuten, die Deutlichkeit desselben störenden Lichtes eine Blende anzubringen, deren Oeffnung gleich der Größe dieses

Fig. 76.



Bildes genommen wird. Ist der Abstand des Objectes D E von der Linse A B = a, der Abstand des Bildes d e von derselben Linse = α, p' die Brennweite der Linse a b, d die deutliche Sehweite, so ist die Vergrößerung:

83)
$$v = \frac{\alpha}{a}\left(\frac{d}{p'} + 1\right)$$

Setzt man die Brennweite des Objectivs A B = p, so kann man auch setzen:

84)
$$v = \frac{p}{a - p}\left(\frac{d}{p'} + 1\right)$$

Um den Ausdruck 83) zu finden, setze man die Sehwinkel, unter welchen D E, d e und d' e' erscheinen (wobei

man sich D E und e d nach e' d' versetzt denken muß, wie D E nach D' E' in Fig. 69), der Reihe nach $= \varphi, \varphi', \varphi''$, und die deutliche Sehweite = d. Es ist dann:

$$DE = 2\,d \,.\, \tan \frac{1}{2}\,\varphi;\; de = 2\,d \tan \frac{1}{2}\,\varphi'$$

daher:

$$\frac{de}{DE} = \frac{\varphi'}{\varphi}$$

und, weil $\triangle\, DME \sim \triangle\, dme$, so ist:

$$\frac{de}{DE} = \frac{\alpha}{a} = \frac{\varphi'}{\varphi}$$

Da das Bild d e in Bezug auf das Ocular a b sich wie ein Gegenstand zu einer einfachen Loupe verhält, so muß $\frac{\varphi''}{\varphi'} = \frac{d}{p'} + 1$ sein, wie oben nachgewiesen worden, es ist daher:

$$\frac{\varphi''}{\varphi} = v = \frac{\varphi''}{\varphi'} \times \frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{\alpha}{a}\left(\frac{d}{p'} + 1\right)$$

Da $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$, so ist $\frac{1}{\alpha} = \frac{a-p}{a\,p}$, daher: $\alpha = \frac{a\,p}{a-p}$ und $\frac{\alpha}{a} = \frac{p}{a-p}$, woraus folgt, daß:

$$v = \frac{p}{a-p}\left(\frac{d}{p'} + 1\right)$$

Aus 84) geht hervor, daß der Abstand des Objectes vom Objective größer sein muß, als die einfache, und kleiner als die doppelte Brennweite des letzteren. Denn ist $a < p$, so wird $\frac{p}{a-p}$ negativ, die Entstehung eines Bildes hinter A B also unmöglich, und wird $a = 2\,p$, so geht 84) in den Ausdruck 82) über, d. h. das zusammengesetzte Mikroskop

wirkt nur wie ein einfaches. Zieht man noch die Entfernung q des Auges vom Ocular mit in Rechnung, so wird:

$$85)\quad v = d \cdot \frac{p}{a - p} \cdot \frac{p' + d - q}{p' \cdot d + q\,(d - q)}$$

Das Gesichtsfeld eines zusammengesetzten Mikroskopes wird durch einen Kegel bestimmt, dessen Spitze der optische Mittelpunkt des Objectivs, und dessen Basis der nicht abgeblendete Theil des Oculars ist.

Als Objectiv muß also, wie aus dem Obigen hervorgeht, eine Linse von kurzer Brennweite, oder ein System aus zwei und mehr solchen Linsen genommen werden. Die Leistungsfähigkeit wird wesentlich erhöht, wenn die Linsen achromatisch eingerichtet werden, und zwar nach den hier schon früher angeführten Principien.

Die Anwendung mehrerer Objectivlinsen gewährt den Vortheil, daß man bei der großen Nähe des Objectes und Objectivs Strahlenbündel von großer Oeffnung, also Strahlen unter großem Einfallswinkel noch benutzen kann, was bei einer einzelnen Linse nicht möglich ist.

In neuerer Zeit werden Objectivsysteme zusammengestellt, von welchen die unterste Fläche in eine Flüssigkeit (Wasser) eingesenkt wird, in welcher sich das Object befindet. Die dazu verwendete Linse heißt »Immersionslinse«.

Erwägt man, daß das Objectiv des Mikroskops in Bezug auf das, was es leisten soll, sich umgekehrt verhält, wie das eines Fernrohrs, indem es die nahe aus seinem Brennpunkte kommenden Strahlen in fast paralleler Richtung bricht, während das Fernrohrobjectiv die fast parallel oder wirklich parallel einfallenden Strahlen nach seinem Brennpunkte oder in die Nähe desselben ablenkt, so geht daraus hervor, daß man das achromatische Mikroskopobjectiv im

Allgemeinen wie ein Fernrohrobjectiv construiren, aber so stellen muß, daß seine Flintglaslinse dem Objecte zugekehrt ist.

Die Anwendung mehrerer Linsen, respective Linsenpaare zu einem Mikroskopobjectiv geschah zuerst von Selligue und Amici, und hat man sich aus dem oben angeführten Grunde veranlaßt gesehen, dieselbe beizubehalten.

Es kommt auch hier wesentlich darauf an, daß nicht nur die chromatische, sondern auch die sphärische Abweichung möglichst vollkommen beseitigt, das Objectiv also aplanatisch hergestellt wird. Dieser Aplanatismus kann sich aber nur auf Strahlenbüschel beziehen, die von zwei bestimmten Punkten der Achse, welche die aplanatischen Brennpunkte der Linse genannt werden, ausfahren. Geschieht das letztere von einem Punkte aus, welcher zwischen diesen Brennpunkten liegt, so kommen die Randstrahlen weiter, die mittleren Strahlen näher zur Vereinigung, und man sagt, die Linse erscheint für solche Strahlen übercorrigirt. Wenn die durch das Linsenpaar hindurchgehenden Strahlen von einem Punkte der Achse ausfahren, welcher außerhalb der aplanatischen Brennpunkte liegt, so gelangen die Randstrahlen näher, die mittleren Strahlen weiter in der Achse zur Vereinigung, die Linse ist daher für solche Strahlen untercorrigirt.

Es ist, wie schon oben erwähnt, mit Hilfe einer aplanatischen Linse unmöglich, sämmtliche, von einem Punkte der Achse aus auf dieselbe fallenden Strahlen wieder in einem Punkte zu vereinigen. Höchstens wird das mit Strahlen der Fall sein können, welche sämmtlich unter ein und demselben Winkel zur Achse auf die Linse treffen, zugleich mit solchen Strahlen, welche der Achse sehr nahe liegen, während die übrigen unter anderen Winkeln zur Achse durch die Linse gehenden Strahlen sich hinter derselben in verschiedenen

Punkten vereinigen werden, selbst wenn ihr Ausgangspunkt (ihr Centrum) einer der aplanatischen Brennpunkte ist.

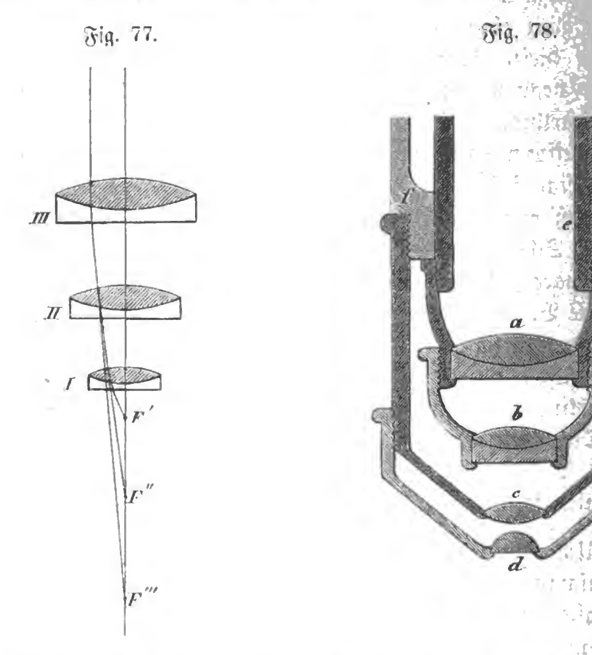
Wie oben angedeutet, vermag man diesen Mangel bedeutend abzuschwächen durch Benutzung mehrerer aplanatischer Linsen, ganz abgesehen davon, daß auf diese Weise auch die Flächen dieser kleinen Linsen nicht zu stark gekrümmt zu werden brauchen. Man kann es durch eine günstige Zusammenstellung dahin bringen, daß die unter 60 Grad und mehr Oeffnung von einem Punkte ausfahrenden Strahlenbüschel sich fast genau wieder in einem Punkte vereinigen, d. h. daß von dem ersteren Punkte ein Bild von wünschenswerther Schärfe erzeugt wird. Die einzelnen aplanatischen Linsenpaare pflegen für ein und dasselbe Mikroskop verschiedene Brennweiten zu besitzen, und sucht man zwei bis drei derselben derartig mit einander zu verbinden, daß die unterste achromatische oder die dem Objecte zunächst liegende Linse die stärkste, die erste dagegen die schwächste Vergrößerung hat. Die mittleren Halbmesser der einzelnen Aplanaten sind gleich, so daß sich die entsprechenden Crown- und Flintglaslinsen mittelst Canadabalsam zusammenkitten lassen.

Um einigermaßen einen Anhalt für die Art und Weise der Zusammenstellung der einzelnen Aplanaten zu einem Objectivsystem zu gewinnen, betrachte man Fig. 77, in welcher I, II und III die drei Aplanaten eines Mikroskopobjectivs vorstellen mögen. Ist nun F' einer der aplanatischen Brennpunkte der Linse I, in welchen das Object zu liegen kommt, so wird die Linse II zu I die günstigste Stellung dann haben, wenn einer der aplanatischen Brennpunkte F'' der Linse II mit dem virtuellen Bild (S. 32) des Punktes F' zusammenfällt; und die Linse III wird endlich wieder so stehen müssen, daß einer der aplanatischen Brennpunkte F'''

der Linse III mit dem virtuellen Bilde des Punktes F″ zusammentrifft.

Wenn der Oeffnungswinkel, unter welchem ein Strahlenbündel die erste Objectivfläche trifft, 60 Grad übersteigt, so

Fig. 77. Fig. 78.



erreicht man die größtmögliche Annäherung dieser Fläche an das Objectiv dadurch, daß man an Stelle der untersten aplanatischen Linse eine beinahe halbkugelförmige Crownglaslinse setzt. Die letztere hat die Eigenschaft, ohne wesentliche sphärische Abweichung eine bedeutende Vergrößerung zu gewähren. Die schematische Anordnung eines solchen Systems stellt Fig. 78 vor.

Die Vereinigung der einzelnen achromatischen Linsen zu einem Objectivsystem geschieht entweder durch Uebereinanderschrauben, oder aber durch unveränderliches Zusammenfügen derselben. Letzteres hat den Vorzug, daß keine Verunreinigungen der einzelnen aplanatischen Bestandtheile eintreten können. Bisweilen bedingt aber die Construction des Systems, daß ein Theil desselben gegen den anderen innerhalb gewisser Grenzen verstellbar eingerichtet wird.

Bei der mechanischen Ausführung der Mikroskope und ihrer Objectivfassungen hat man überhaupt ganz besonders folgende Punkte ins Auge zu fassen: die Art und Weise, wie die Objective gefaßt werden; ferner die Vereinigung der einfachen achromatischen Objective zu bestimmten Systemen; ferner die Einrichtung, wonach die Wirkung ein und desselben zusammengesetzten Objectivs je nach der Dicke der für die Objecte zu verwendenden Deckgläschen verbessert werden kann (die Verbesserungsvorrichtung), und endlich die Verbindung des Mikroskoprohres mit dem Stative.

Was die Fassung der einzelnen Linsen zu Objectivsystemen anlangt, so läßt sich manches Allgemeingiltige hervorheben. Da die Verhältnisse sämmtlich wesentlich kleiner sind, als bei einem Fernrohre, so verlangt auch das Schleifen, Poliren, Centriren und Zusammensetzen der Objective, ihre Fassung und Vereinigung zu Objectivsystemen in mancher Hinsicht eine weit größere Mühe und Anstrengung. Die Fassung geschieht, wie ja bei allen Linsen in Metall-, besonders in Messingröhren, und kommt es darauf an, daß die einfachen achromatischen Objective, ebenso wie die zu Systemen vereinigten, genau centrisch stehen, d. h. daß die Achsen der einzelnen Linsen mit den Achsen der einzelnen Rohrfassungen eine einzige gerade Linie bilden, denn die geringsten Abweichungen von dieser Regel beeinträchtigen die

Schärfe des Bildes ganz bedeutend, zumal, wenn die Vergrößerung, welche das Mikroskop anzuwenden gestattet, sehr stark ist. Besonders schwierig ist das genaue Centriren der kleinen Linsenkörperchen, welche die achromatischen Mikroskopobjective bilden sollen; es erfordert neben großer Vorsicht und Gewissenhaftigkeit auch eine ziemliche Geduld und Ausdauer, um nicht selten häufig wiederkehrende Fehler endlich vollständig zu beseitigen. Diese Mühe und Arbeit erscheint mehr als verdoppelt bei der Centrirung der Objectivsysteme namentlich derjenigen der Verbesserungsvorrichtung, weil es nicht leicht ist, die Führung der beweglichen Doppellinse so einzurichten, daß die Achse der letzteren fort und fort bei jeder Lage stets mit der Achse der feststehenden Linsen zusammenfällt.

Wie schon oben erwähnt, kann die Vereinigung der einzelnen achromatischen Linsen zu Objectivsystemen auf zweierlei Weise stattfinden: veränderlich oder unveränderlich. Die erstere Methode ist die ältere, und findet man nur noch bei denjenigen Mikroskopen angewendet, welche eine geringere Vergrößerung gewähren, und überhaupt von keinem großen Werthe sind. Ihr zufolge ist jedes Mikroskop mit einer Anzahl einfacher, mit den Nummern 1, 2, 3 u. s. w. bezeichneten Objective versehen, die durch Uebereinanderschrauben zu verschiedenen Systemen (wie: 1 + 2; 1 + 2 + 3; 2 + 3 u. s. w.), und zwar so viel vereinigt werden können, als die Menge der einfachen Objective beträgt.

Die durch diese Methode gebotene, an und für sich vortheilhafte Auswahl zwischen verschiedenen beliebigen Combinationen ist auf der anderen Seite auch mit manchen Nachtheilen verbunden, worunter namentlich der Mangel einer gewissen Schärfe, Reinheit und Klarheit des Bildes ganz besonders hervortritt, denn es ist bei einer solchen veränder-

lichen Einrichtung die mathematisch genaue Centrirung der Objective nicht möglich, wie bei einem unabänderlich festen Objectivsysteme, wie es heutigen Tages nur noch bei den besten Instrumenten angewendet wird und von Oberhäuser, Amici und Anderen, namentlich englischen Optikern zuerst eingeführt wurde. Freilich bedingt diese Methode aber auch eine größere Anzahl verschiedener unveränderlicher Objectivsysteme für eine bestimmte Auswahl von Vergrößerungen, und damit auch eine wesentliche Erhöhung des Preises solcher auf diese Weise ausgestatteter Mikroskope, allein angesichts der großen damit erreichten Vortheile hinsichtlich der Vollkommenheit ihrer Wirkung können diese Dinge nicht in Betracht kommen für denjenigen Mikroskopiker, der seine Forschungen von dem besten Erfolge gekrönt zu sehen wünscht.

Die Verbesserungsvorrichtung oder Correctionsfassung ist, wie schon erwähnt, bei einem guten Mikroskop deshalb nöthig, weil die beim Beobachten zur Verwendung gelangenden Deckgläschen eine wechselnde Dicke haben, und verhindern, daß die Schärfe des Bildes zu allen Zeiten unveränderlich erhalten bleibt. Man pflegt daher, um diesen Mangel zu jeder Zeit heben zu können und den Fehler wieder auszugleichen, die zu einem bestimmten Systeme vereinigten Linsen so einzurichten, daß sie um einen kleinen Betrag sich gegeneinander verschieben lassen, und zwar entweder die beiden hinteren Linsen zugleich, oder eine hintere Linse allein, während die vordere Linse, oder beide vorderen Linsen zugleich feststehen bleiben, oder es kann gerade der entgegengesetzte Fall stattfinden.

Die Fassung eines festen Objectivsystems mit Correctionsvorrichtung kann natürlich auf verschiedene Weise ausgeführt werden. Stellt z. B. Fig. 78 das untere Ende einer solchen Fassung mit den zu einem System vereinigten

Linsen a, b, c und d vor, und sollen a und b in Bezug auf c und d corrigirt, d. h. verschiebbar gegen c und d hin angebracht werden, so müssen a und b in einer besonderen Röhre e, und ebenso c und d an einer zweiten Röhre f angeschraubt, und beide Röhren so ineinander beweglich angebracht werden, daß, während f unveränderlich mit dem Hauptrohre verbunden bleibt, e innerhalb desselben auf gemeinschaftlicher Achse um einen gewissen Betrag sich auf- und abschieben läßt. Dieser Betrag wird am besten durch Versuche unter Anwendung der dicksten und dünnsten Sorte von Deckgläschen ausfindig gemacht.

Die gleichmäßige und sichere Verschiebung des Objectivtheiles a und b gegen den anderen Objectivtheil c und d hin, oder von diesen hinweg wird durch eine schraubenartig gewundene, in dem Zwischenraume zwischen e und f anzubringende Spannfeder und durch eine ringförmig um f gelegte, und in einer breiten Nuth festgehaltene Schraubenmutter bewerkstelligt. In die Gänge der letzteren greifen diejenigen einer Schraube, welche man auf dem Rohre e äußerlich eingeschnitten, und dann wieder bis auf zwei schmale, parallel mit der Rohrachse verlaufende, entgegengesetzt liegende Streifen weggefeilt hat; diese beiden Streifen ragen durch zwei entsprechend liegende Schlitze in dem Rohre f so weit hervor, als nöthig ist, um die Gänge der ringförmigen Schraubenmutter an diesen Stellen auszufüllen. Diese Schraubenmutter ist außen herum genarbt, um sie mit den Fingern bequem erfassen und drehen zu können. Die Spannfeder preßt nun zunächst das Rohr e mit dem System a und b nach unten in die größte Nähe von c und d. Will man dann a und b von c und d um einen bestimmten Betrag ihres Abstandes entfernen, so hat man nur nöthig, durch sanfte Drehung des Schraubenmutterringes diese Entfernung zu bewerkstelligen,

bis man die größte Schärfe und Klarheit des Bildes erlangt hat. Die Fassung jeder einzelnen Linse geschieht ebenso wie die oben bereits geschilderte Fassung der Ocularlinsen, nur muß man auch hier mit größerer Subtilität und Sorgfalt wegen der Kleinheit der Gläser verfahren.

Statt des einfachen Oculars wird das bereits früher behandelte Campanische Ocular (S. 101) mit Vortheil angewendet, und gelten die daselbst geschilderten Eigenschaften und Vorzüge auch hier.

Die Verbesserungen, welche man in neuerer Zeit mit dem Oculare vorgenommen hat, die Vorzüge des orthoskopischen und periskopischen Oculars (S. 111 und 114) kommen auch dem Mikroskope zu Gute.

Außer dem Campanischen Ocular ist das Ocular Ramsden's von Plößl unter dem Namen des aplanatischen Oculars beim Mikroskop angewendet worden.

Das Rohr, welches die Ocularlinsen enthält, muß so eingerichtet sein, daß es sich leicht in dem Objectivrohre verschieben läßt.

Bisher haben wir angenommen, daß das Objectiv und Ocular eine bestimmte, unveränderliche Stellung zu einander haben, in welchem Falle dann eine Vorrichtung vorhanden sein muß, mit deren Hilfe das Rohr so lange dem Objecte genähert, oder von demselben entfernt werden kann, bis man letzteres am deutlichsten und schärfsten sieht. Die Vergrößerung bleibt natürlich hierbei stets dieselbe. Da aber bei der Annäherung des Objectivs an das Object das letztere dem Brennpunkte des Objectivs immer näher rückt, und somit die aus dem letzteren austretenden Strahlen mehr und mehr eine parallele Lage annehmen, so rückt das Bild auch immer weiter unter stetiger Zunahme seiner Vergrößerung. Um dieses vergrößerte Bild deutlich sehen zu können, machte

Chevalier das Ocular verschiebbar und construirte das sogenannte pankratische Mikroskop. Die sogenannten Dissectionsmikroskope Plößl's und Oberhäuser's, welche besonders zu dem Zwecke eingerichtet sind, Präparationen der Objecte unter dem Mikroskope vornehmen zu können, gehören zu der Classe der pankratischen Mikroskope. Die Vergrößerung, welche dasselbe gestattet, nimmt zu, sobald das Ocularrohr herausgezogen wird. Das verkehrte Bild, welches vom Objectiv entworfen wird, wird durch eine geeignete Stellung des Oculars wieder in die entgegengesetzte Lage gebracht. Die an der Röhre eines Plößl'schen Dissectionsmikroskops stehenden Zahlen lassen die Vergrößerung erkennen, die man durch Herausziehen des Rohrs bis zu einer bestimmten Stelle erhält.

Die Verbindung des Mikroskoprohrs mit dem Stativ, die Stellung des sogenannten Objecttisches, die Art und Weise ihrer Vereinigung unter einander und Beweglichkeit gegeneinander, die äußere Form, alles das sind Dinge, die theils von dem besonderen Zwecke des Instrumentes abhängen, theils von den besonderen Ideen der einzelnen Optiker, so daß man beinahe von so viel Mikroskopen-Mustern sprechen kann, als es hervorragende Künstler auf diesem Gebiete der praktischen Optik giebt.

Chevalier hat Mikroskope ausgeführt, deren vom Objective senkrecht nach oben gebrochene Strahlen von der Hypothenusenfläche eines Prismas in horizontaler Richtung weiter reflectirt werden, so daß das Object in dieser Richtung betrachtet werden kann. Da aber das auf diese Weise rechtwinkelig gebrochene Rohr in einem Gelenk am Stativ beweglich angebracht ist, so läßt es sich auch in eine andere irgendwie bequeme Lage versetzen.

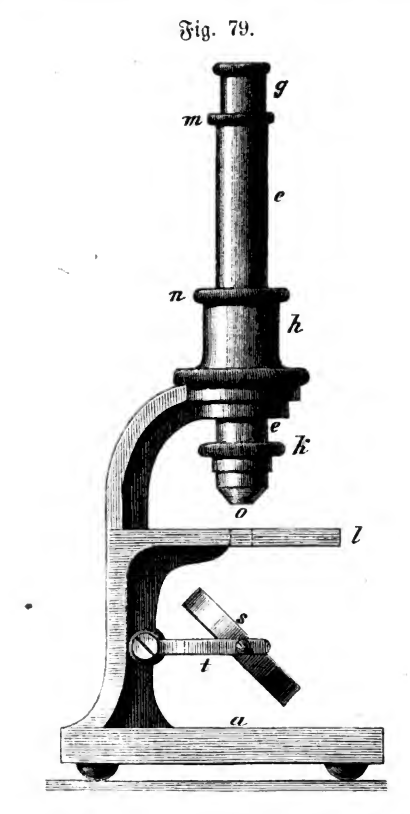
Der Objecttisch besteht gewöhnlich aus einer, in der Mitte durchbrochenen Metallplatte und dient zur Aufnahme der zu beobachtenden Objecte. Die Dimensionen dieses Tischchens betragen etwa 5 Cm. und 10 Cm. Die Oeffnung in demselben dient dazu, das von unten her zum Zwecke der Erleuchtung des Objectes durch Reflexion nach oben gesandte intensive Licht hindurchtreten zu lassen. Die obere Fläche des Tischchens muß möglichst eben, und zur Vermeidung eines schädlichen Reflexes matt geschwärzt sein. Der Tisch selbst ist häufig auf verschiedene Weise verstellbar, damit man das Object von verschiedenen Seiten beobachten kann, während gleichzeitig Klammern oder Spiralfedern dazu dienen, das Object zu fixiren.

Das Stativ eines Mikroskops, welches das Mikroskop zu einem Ganzen vereinigt, ihm seinen Halt ertheilt, und einen sicheren und festen Stand verleiht, muß daher etwas massig, d. h. etwas schwer ausgeführt, und mit einer großen Grundfläche versehen werden. Eine in allen Fällen stets sichere Aufstellung gewährt die Anbringung dreier Stützpunkte an der Grundfläche, weshalb wohl die Anwendung des sogenannten Hufeisenfußes am meisten zu empfehlen, und auch am häufigsten verbreitet ist, abgesehen davon, daß der zwischen den Hufeisenschenkeln a (Fig. 79) liegende Raum noch nebenbei der freieren Bewegung des Beleuchtungsspiegels förderlich ist.

Das Stativ soll aber nicht blos das Gerüst des Mikroskops bilden, sondern auch, was ganz besonders wichtig ist, die Sicherheit und Zuverlässigkeit in Anwendung des Mikroskops unterstützen helfen. Es soll dazu dienen, dem Mikroskoprohre, welches Objectiv und Ocular enthält, eine sichere Führung geben zu können, bei welcher nicht die mindeste Abweichung von der Richtung der ursprünglichen

optischen Achse eintreten, kein Schwanken, kein Vibriren möglich werden kann. Wie vermag man aber diese Be-

Fig. 79.



dingung vollständig zu erfüllen? Lediglich dadurch, daß man das Stativ so viel als möglich aus einem einzigen Metallstück anfertigt, den Objecttisch mit inbegriffen. Das wird nun freilich nicht immer durchaus möglich sein, wie

z. B. in dem Falle, wo das Stativ zum Umlegen eingerichtet werden soll.

Um einen Anhalt zu bieten für die Art und Weise, wie (auf dem obigen Principe gestützt) ein Mikroskop so einfach als möglich construirt werden, und doch dabei den möglichst größten Anforderungen genügen kann, möge hier die Beschreibung einer solchen Construction unter Zuhilfenahme von Fig. 79 folgen. Es ist hier vorauszusetzen, daß die Ocular- wie die Objectivlinsen nach den bereits oben angegebenen Regeln ausgeführt und gefaßt worden sind, so daß nur blos ihre Zusammenstellung zu einem Ganzen in einem gemeinschaftlichen Rohre erforderlich ist. Wir wollen zugleich annehmen, daß die Einstellung mittelst Stellschraube, ähnlich der oben für das Ocular eines Fernrohrs angegebenen, die sich jeder Optiker ja nach Belieben einrichten kann, in Wegfall kommen, und dieselbe nur mittelst Zugs erfolgen soll. Aus Fig. 78 folgt schon, daß das gesammte Rohr, welches aus dem Objective und Ocular besteht, aus drei Rohrstücken zusammengesetzt sein muß: aus dem Rohre f für die Correctionsfassung, dem Hauptrohre e und aus dem in demselben verschiebbaren Ocularrohre g (Fig. 79). Das Rohr e ist in der mit dem Stative zu einem Ganzen verbundenen Führungshülse h auf und ab verschieb-, respective verstellbar. Damit die Verschiebung der Rohrtheile ineinander immer so genau vor sich gehe, daß ihre gemeinschaftliche Achse von der geraden Linie nicht im geringsten abweicht, bringt man bei m und n solche Fassungen an, wie sie zu den Zugfernröhren angewendet werden und sie Fig. 67 darstellt. Genau und gut passend ausgeführt, gewähren sie eine sichere Führung, denn wegen ihrer senkrechten Stellung sowohl, wie derjenigen der Achse, ist ein Durchbiegen der letzteren, wie beim Zugfernrohr nicht zu gewärtigen. Beim Einstellen

erfaßt man das Rohr e, schiebt es schwach drehend in der Hülse h, je nach Bedarf auf und ab, bis das Object scharf und deutlich zu sehen ist; und will man die Stellung des Oculars etwas verändern, so erfaßt man das Rohr g in derselben Weise, und verschiebt es in dem Rohre e, während dieses mit der anderen Hand festgehalten wird. Die Correctionsstellung geschieht an dem Ringe k. Der Objecttisch l bildet, wie schon gesagt, mit dem übrigen Stativ ein Ganzes und besitzt bei o eine Oeffnung, über welche das zu betrachtende Object gelegt wird. Die Oeffnung o muß daher mit ihrer Mitte in der verlängerten Achse des Rohrs e liegen. Unter dem Objecttische befindet sich ein Hohlspiegel s, welcher sich um eine Achse in dem an dem Stativ befestigten gabelförmigen Träger t so stellen läßt, daß das seitlich in den Spiegel einfallende Licht durch die Oeffnung o des Objecttisches hindurch nach dem auf o liegenden Objecte reflectirt, und dasselbe auf solche Weise hinreichend beleuchtet wird. Es muß demnach die krumme Fläche des Spiegels so construirt sein, daß das in einem Strahlenkegel aus demselben tretende Licht, concentrirt, von unten her durch die Oeffnung o hindurch auf das Object fällt. Letzteres erscheint also auf diese Weise vom durchgehenden Lichte erhellt. Wünscht man dasselbe dagegen im auffallenden Lichte zu betrachten, so muß man eine Sammellinse als Beleuchtungslinse von kurzer Brennweite zu Hilfe nehmen und dieselbe während der Beobachtung so halten, daß ihr Lichtkegel von oben her und seitlich auf das Object fällt. Man hat es auf diese Weise in der Gewalt, diese Beleuchtung in verschiedenen Richtungen wirken zu lassen, wodurch häufig in der Art und Weise, wie sich das Object dem Auge darstellt, interessante Veränderungen wahrgenommen werden. Diese Beleuchtungslinse kann auch ganz besonders gefaßt, und mittelst verstell-

baren Trägern an das Stativ befestigt werden. Dem denkenden Optiker wird es nicht schwer fallen, auch andere, vielleicht besonderen Zwecken entsprechende Constructionen zu ersinnen und andere Beleuchtungsvorrichtungen anzubringen. Das Einsetzen des Rohrs e in die Führungshülse h geschieht nur mit Hilfe der Zugsfassung n, welche, nachdem das Rohr e in dieselbe geschoben, mit diesem in die Hülse h geschraubt wird.

Ganz besonders wichtig für den praktischen Optiker ist es, das Verfahren kennen zu lernen, nach welchem er die Leistungen des Mikroskops prüfen soll. Diese Prüfung wird er im wesentlichen auf dreierlei Art und Weise vornehmen müssen, weil ihm vor allen Dingen daran gelegen sein muß, zu wissen, welchen Grad der Deutlichkeit und Klarheit die Bilder besitzen, die sein Mikroskop entwirft, ferner welche Vergrößerung sie erlangen, und endlich wie groß das Gesichtsfeld ist, innerhalb welches sich diese Bilder dem Auge zeigen. Die Deutlichkeit und Helligkeit der Bilder, welche bekanntlich von der Vernichtung der chromatischen Abweichung sowohl, wie der sphärischen abhängt, kann man am einfachsten auf die Weise untersuchen, daß man ein einziges, kaum mit dem unbewaffneten Auge wahrnehmbares Quecksilbertröpfchen auf einen mattschwarzen Grund bringt, und am Fenster durch das Mikroskop betrachtet. Auf dem Tröpfchen spiegelt sich nun das Bild das Fensters wieder und kann durch das Mikroskop betrachtet werden. Damit das Fensterbild in dem Tröpfchen klar und deutlich wiedergegeben erscheint, muß man dem letzteren die geeignetste Lage gegen das Fenster zu geben suchen. Wenn nun dieses zarte Bildchen durch das Mikroskop betrachtet, völlig farblos erscheint, so ist das Objectiv gut achromatisch. Verschwindet ferner beim Auf- und Abwärtsstellen des Rohrs e das

Bild fast gleichzeitig schnell, und erscheint es nicht nebelig, so kann die sphärische Abweichung als aufgehoben betrachtet werden. Dabei müssen die Umrisse des Bildes und Einzelnheiten desselben scharf und rein sich darstellen. Es lassen sich aber zu demselben Zwecke noch eine Menge andere Prüfungsobjecte anwenden. So muß z. B. ein Fledermaushaar deutlich seine trichterförmigen Theilchen, das Haar der Hausmaus die weißen Stellen desselben in voller Schärfe erkennen lassen. Um die Prüfung auf die Schärfe der Einzelnheiten auf-, oder in den Objecten vorzunehmen, kann man sich der Schmetterlingsflügel bedienen und ihre Schuppen untersuchen. Man wird da z. B. bei 40maliger Vergrößerung deutlich die Längsstreifen der Schuppen des Riedgrasfalters, bei 300maliger Vergrößerung auch die Querstreifen derselben erkennen. Auch eignen sich die durchscheinenden Flügel mancher Insecten sehr gut zu solchen Proben; indem man, mit der schwächsten Vergrößerung beginnend, allmälig bis zur stärksten Vergrößerung von etwa 300 weiter schreitet, nimmt man immer mehr und mehr Einzelnheiten auf solchen Objecten wahr, die sich stets in vollkommener Schärfe und Klarheit erkennen lassen müssen, wenn das Mikroskop gut ist. Vermag man mit demselben bei 60- bis 120maliger Vergrößerung, z. B. beim Juwelenkäfer (Curculio imperialis L.), einem in Südamerika vorkommenden, prächtig schillerndem Insecte, die länglichrunden Schuppen wahrzunehmen, welche jenes Farbenspiel hervorrufen, so kann man überzeugt sein, daß es ein allen Anforderungen entsprechendes Instrument ist.

Es gibt auch künstliche, zur Prüfung der Mikroskope geeignete Objecte, wie z. B. die nach ihrem Erfinder genannte Nobert'sche Platte. Dieselbe, eine kleine ebene Glasplatte, besitzt zehn nebeneinander liegende Gruppen, jede aus feinen,

parallel nebeneinander eingeritzten Linien bestehend, die sehr kleine, in jeder Gruppe andere Abstände haben, welche mit jeder nächsten Gruppe kleiner werden. So beträgt der Abstand je zweier Linien der ersten Gruppe den tausendsten Theil einer Pariser Linie, der Abstand je zweier Linien der letzten Gruppe nicht ganz den fünften Theil jenes ersten Abstandes. Will man nun ein Mikroskop mit Hilfe einer solchen Platte prüfen, so beobachtet man zunächst die Gruppe, deren Linien den größten Abstand haben; sie muß bei einer 50maligen Vergrößerung sich klar und deutlich in die einzelnen Linien auflösen lassen; je größer die Anzahl der Gruppen ist, die bei ein und derselben Vergrößerung die einzelnen Linien deutlich erkennen läßt, desto größer ist die Schärfe und Helligkeit des Mikroskops. Damit jene feinen Linien der Glasplatte deutlich wahrnehmbar werden, ist es nothwendig, daß dieselben eine besondere Beleuchtung erfahren. Dieselbe muß, wie leicht erklärlich, schief gegen die Glasfläche und senkrecht zur Richtung der Linien einfallen. Es muß daher der Beleuchtungsspiegel eine dieser Bedingung entsprechende Lage erhalten, bei welcher der Lichtkegel nur die eben bezeichnete Richtung annehmen kann.

Um die Vergrößerung eines Mikroskops zu prüfen, wendet man ein sogenanntes Mikrometer an, wie es zur Messung der Größe von kleinen Objecten benutzt zu werden pflegt. Dasselbe besteht, wie die Nobert'sche Platte, aus einer kleinen Glasplatte, in welche eine Scala eingravirt ist. Die Striche dieser Scala stehen in bestimmten gleichen Abständen von einander, so daß man weiß, wie viel davon auf ein gewisses Längenmaß fallen. Bei den Nobert'schen Mikrometern sind diese Striche $\frac{1}{8000}$ Pariser Linie von einander entfernt. Ein solches Mikrometer legt man nun unter das Mikroskop,

stellt letzteres scharf darauf ein, nachdem man vorher die Einrichtung getroffen hat, über dem Ocular ein kleines ebenes Spiegelchen unter 45 Grad Neigung gegen die Rohrachse anbringen zu können. Die auf solche Weise in dem Spiegelchen sichtbaren Striche der Scala erscheinen in die deutliche Sehweite gerückt, so daß man nichts weiter nöthig hat, als daneben, also in gleicher Richtung von dem Auge in der deutlichen Sehweite eine größere Scala senkrecht aufzustellen, und zuzusehen, wie viel Theilstriche des Mikrometers auf eine bestimmte Anzahl von Theilstrichen der Scala gehen. Dividirt man dann die absolute Länge eines Scalentheiles durch die absolute Länge eines Mikrometertheiles, so erhält man die Vergrößerungszahl. Angenommen, die große Scala sei in Pariser Zoll, und jeder Zoll in Viertel getheilt; ferner mögen von den in dem Spiegelchen deutlich erkennbaren Mikrometertheilchen 18 auf einen Pariser Zoll der danebenstehenden Scala gehen, so ist offenbar jeder Theil des Spiegelbildes gleich $\frac{1}{18}$ Pariser Zoll = $\frac{12}{18}$ Pariser Linie. Es erscheint sonach jeder Theil der Mikrometerscala in einer Größe von $\frac{2}{3}$ Pariser Linie. Wenn nun die absolute Länge eines solchen Mikrometertheiles $\frac{1}{300}$ Pariser Linie beträgt, somuß die Vergrößerung des Mikroskops gleich $\frac{2}{3} : \frac{1}{300} = 200$ sein.

Um endlich die Größe des Gesichtsfeldes ausfindig zu machen, benutzt man ebenfalls das Mikrometer, und beobachtet durch das Mikroskop, wie viel Theile des ersteren auf einmal übersehen werden können. Da man nun die Länge eines Mikrometertheiles kennt, so braucht man blos den Werth

desselben mit der beobachteten Anzahl der Theile zu multipliciren, um die Größe des Gesichtsfeldes zu finden.

Die Herstellung eines genauen Glasmikrometers verlangt stets eine große Sorgfalt in der Behandlung einer zu diesem Zwecke besonders construirten Theilmaschine, welche mit einem scharfen, äußerst spitzen Diamanten zum Eingraviren der Striche in Glas verbunden ist. Um eine größere Anzahl solcher Theilstriche unter dem Mikroskop bequemer zählen zu können, sind die nach einer bestimmten Menge, z. B. nach vier Strichen gezogenen Theilstriche (also allemal die fünften) etwas länger, die zehnten noch etwas länger aufgetragen.

Die Vergrößerungen, welche man mit guten Mikroskopen erreichen kann, gehen sehr weit (bis 500 und noch mehr), indessen es stellt sich auch hier wie beim Fernrohr eine Grenze ein, über welche man nur auf Kosten der Schärfe und Lichtstärke der Bilder gehen kann.

In Bezug auf das, was vorzügliche Mikroskope zu leisten vermögen, stehen wohl diejenigen aus der optischen Werkstätte von C. Zeiß in Jena heute unübertroffen da.

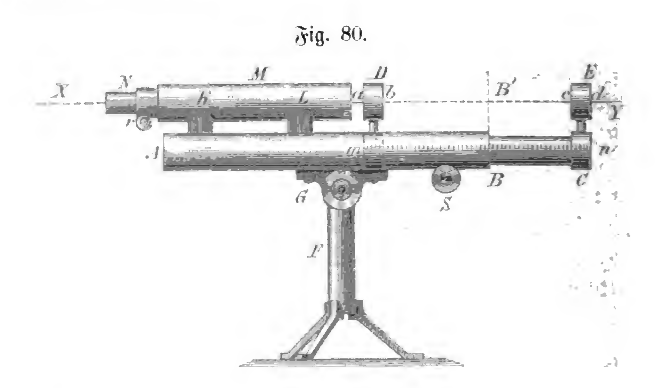
Bestimmung des Brechungsindex des Glases.

Methoden zur Bestimmung des Brechungsindex, sowie des Zerstreuungsverhältnisses des Crown- und Flintglases und auch anderer durchsichtiger Substanzen giebt es mehrere, die sich sowohl in Bezug auf den dazu nöthigen Aufwand von Mühe und Geduld, als auch in Bezug auf die damit erlangte Genauigkeit der Resultate wesentlich von einander unterscheiden.

Wie in vielen anderen Fällen, so auch hier, kann der Künstler beweisen, wie sehr es auf eine gewissenhafte und sorgfältige Anwendung, selbst der einfachsten Methode ankommt, um mit derselben zuverlässige Resultate zu erlangen.

Es sind im Folgenden zwei einfache Methoden beschrieben, den Brechungsindex eines Glases zu bestimmen, und der Künstler wird am sichersten gehen, wenn er für jeden besonderen Fall der besseren Controle halber stets beide Methoden anwendet.

Fig. 80.



Der Apparat, welcher dazu dient, wird durch Fig. 80 erläutert. Es stellt hier A B ein mit einem Gelenk G (zur Verticalbewegung) auf einer Säule F befestigtes Messingrohr vor von ungefähr 40 Cm. Länge und 4 Cm. Durchmesser, in welchem von einer Seite her ein zweites B C von etwa 30 Cm. Länge mittelst einer Stellschraube S genau in der Richtung der gemeinschaftlichen Achse verschiebbar ist. Am Ende C ist auf dem Rohre B C eine Messinghülse E von etwa 2 Cm. Durchmesser befestigt, so daß die Mitte der Hülse möglichst senkrecht über der des Rohres liegt. Eine

zweite ebensolche Hülse D sitzt auf dem Rohre A B etwa 15 Cm. vom Ende B entfernt, und ist so gestellt, daß die durch die Mitten beider Hülsen gezogene gemeinschaftliche Achse mit der gemeinschaftlichen Achse der beiden Röhren A B und B C parallel läuft. An der Seite der letzteren befindet sich eine genaue Eintheilung m n in Centimeter und Millimeter zwischen den Außenrändern m und n der die Hülsen D und E tragenden Fassungen, so daß jedesmal der Abstand der vorderen Räder a und c, oder der hinteren b und d (die beide stets übereinstimmen müssen) genau gemessen werden kann. Es müssen daher auch die Breiten a b oder c d bekannt sein. Auf dem Theile A m des Rohres A B befinden sich zwei Gabeln K und L, die so groß sind, daß ein kleines achromatisches Fernrohr M, welches mit einem das Ocular tragenden und durch die Schraube r verstellbaren Auszugsrohre N verbunden ist, in dieselben gelegt, mit seiner Achse genau in die Achse X Y der beiden Hülsen D und E fällt.

Um nun nach der einen Methode den Brechungsindex einer Crown- und Flintglassorte zu bestimmen, verfertigt man aus beiden planconvexe Linsen mit einem Krümmungshalbmesser von etwa 20 Cm., so daß die Crownglaslinse ungefähr eine Brennweite von 38 Cm. und die Flintglaslinse eine Brennweite von 30 Cm. erhält. Jeder Linse giebt man den Durchmesser der Hülsen D und E. Zur Befestigung der Linse am vorderen oder hinteren Rande einer der letzteren dient eine mit einem federnden Rohrstückchen versehene Blende (Fig. 81), deren Oeffnung a etwa 8 Mm. beträgt. Mit dem Rohransatz, der wegen des Ständers der Hülsen einen Ausschnitt b hat, wird die Blende über die Hülse geschoben, nachdem man die Linse mit der Planseite nach unten in die Blende gelegt hat. Es befindet sich dann der Rand der

Linse zwischen dem der Blende und dem der Hülse genügend fest eingeklemmt. Die Hülsen, sowie die Blende müssen mattschwarz gebeizt sein.

Ist die Linse z. B. auf den Rand a der Hülse D befestigt, so spannt man über den Rand c der Hülse E ein Stückchen angefeuchtetes, feines, weißes Papier, nähert letztere der ersteren um 38 Cm., wenn die Linse eine Crownglaslinse, oder um 30 Cm., wenn sie eine Flintglaslinse ist, und richtet dann, nachdem das Papier getrocknet und glatt aufgespannt und das Rohr M entfernt worden, das Instrument genau gegen die Sonne, so daß die Strahlen derselben senkrecht auf die Planfläche der Linse treffen und auf der Papierfläche ein Sonnenbild entsteht. Von der genauen Controlirung der Schärfe desselben hängt die Schärfe der Einstellung der Hülse E und der Bestimmung der Brennweite ab. Man muß daher mittelst der Schraube S, die einen sehr ruhigen und gleichmäßigen Gang haben muß, die Hülse so lange hin- und herschieben, bis man das Sonnenbild am schärfsten begrenzt zu sehen glaubt. Dasselbe muß selbstverständlich immer genau in die Mitte der Papierscheibe fallen.

Fig. 81.

Um die scharfe Einstellung ohne Anstrengung des Auges zu ermöglichen, bedient man sich eines matt berußten Glases, durch welches hindurch man mittelst einer Sammellinse von 5 Cm. Brennweite das Sonnenbild beim Einstellen verfolgt. Auf der Eintheilung m n liest man die Summe der beiden Abstände a B′ und B′ c genau ab, sie ist gleich der gesuchten Brennweite. Angenommen, dieselbe sei nach genauer, mit Hilfe einer Loupe ausgeführter Schätzung für die Crownglaslinse = 39,5 Cm. und für die Flintglaslinse = 31,75 Cm. als das Mittel aus einer

Reihe von Beobachtungen gefunden worden, so ist nach Formel 28) (S. 41) einmal:

$$39,5 = \frac{20}{m}$$

das anderemal:

$$31,5 = \frac{20}{m'}$$

wenn $m = n - 1$, $m' = n' - 1$ und n und n' die Brechungsexponenten für Crown- und Flintglas sind. Es ergiebt sich:

$$m = 0,50633, \text{ daher } n = 1,50633$$

und

$$m' = 0,63492, \quad \text{»} \quad n' = 1,63492$$

Die Bestimmung der Brechungsverhältnisse nach der zweiten Methode geschieht mit demselben Instrumente, aber unter Zuhilfenahme des Fernrohrs M. Diese Methode hat vor der ersteren den Vorzug, daß man nicht mit Sonnenlicht zu experimentiren braucht. Nachdem man vorher über den Rand c ein feines, weißes Papier gespannt hat, auf welchem in der Mitte eine Gruppe scharfer, schwarzer Linien gezogen sind, und das Instrument dann wie oben ungefähr eingestellt worden, legt man das Fernrohr M, wie in der Figur angegeben, in seine Lager K und L, mit seinem Objective ganz nahe an die zu untersuchende Linse bei a. Das Fernrohr muß aber vorher genau auf ein Gestirn, z. B. den Mond, scharf eingestellt worden sein. Man sieht nun von X aus durch dasselbe nach den auf c befindlichen schwarzen, recht intensiv beleuchteten Linien so lange, bis man sie, indem man mit Hilfe von S der Hülse E wieder die geeignete Stellung zu geben sucht, in voller Schärfe und Deutlichkeit erkennt. Man darf dann versichert sein, daß sich c im Brennpunkte der Linse befindet und in B sich wieder die genaue Brennweite derselben ablesen läßt. Denn

die Strahlen, welche vom Brennpunkte in c ausgehen, treten nach ihrem Durchgange durch die Linse bei a parallel aus derselben heraus, mithin parallel (wie die Mondstrahlen) wieder in das Fernrohr ein, so daß die Linien bei derjenigen Stellung des Oculars N in völliger Klarheit gesehen werden müssen, in welcher auch der Mond klar und deutlich gesehen wurde.

Auch diese Methode muß man mehreremale anwenden, um eine Beobachtungsreihe und aus derselben einen Mittelwerth zu erhalten. Will man noch gewissenhafter gehen, so spannt man das Versuchsglas und Papier auf den Rand b, respective d und nimmt auch in dieser Stellung die beiden Methoden nochmals vor. Man kann es so auf vier Versuchsreihen, mithin auf vier arithmetische Mittel bringen, aus welchen sich wiederum ein letztes Mittel ziehen läßt.

Man kann auch statt der oben angeführten Gruppe schwarzer Linien einen in einer Blende angebrachten schmalen Spalt benutzen, durch welchen die Strahlen eines dahinterstehenden Lichtes dringen und von da aus sich weiter nach dem Fernrohre fortsetzen. Bringt man zwischen die Linse und das Fernrohr eine starke Glasplatte mit genau parallelen Flächen in geneigter Stellung gegen die Strahlenrichtung, nachdem vorher noch darauf geachtet worden, daß die Fernrohrachse genau durch die Mitte des Spaltes und der zu prüfenden Linse geht, so wird man das Bild des Spaltes so lange gegen die Mitte des Gesichtsfeldes verschoben sehen, als das Strahlenbündel, welches durch die Platte hindurchgeht, noch nicht genau aus parallelen Strahlen besteht, d. h. so lange der Spalt noch nicht genau im Brennpunkte der Linse sich befindet.

Bestimmung des Zerstreuungsverhältnisses des Crown- und Flintglases.

Diese Bestimmung ist im Allgemeinen mühsamer, als die des Brechungsindex.

Man fertige vorläufig aus den zu prüfenden Glassorten ein Objectiv, dessen vier Flächen der Reihe nach von der vordersten nach der hintersten gezählt, die Krümmungshalbmesser 12 Cm., 6 Cm., 6 Cm. und 32 Cm. besitzen, und fasse dasselbe an die Stelle eines Objectivs von etwa ähnlichen Verhältnissen in ein Fernrohr.

Man beobachte nun mit demselben die scharfe Grenze zwischen einem hellen (weißen) und dunklen Gegenstande, z. B. die Kante einer weißen Wand, und wenn man an derselben deutlich die Farben des Sonnenspectrums sieht, so ändere man die vordere Fläche der Crownglaslinse so lange durch allmälige Vergrößerung des Krümmungshalbmessers, bis die prismatischen Farben nicht mehr wahrnehmbar sind, und man es nur noch mit dem secundären Spectrum zu thun hat. Das letztere wird erkannt an dem gelbgrünen Saum der Kante eines hellen Gegenstandes auf dunklerem Grunde (z. B. eines Schornsteines), der beim Herausziehen des Oculars sich zeigt, und an der schwach purpurfarbenen Begrenzung, die beim Hineinschieben des Oculars auftritt. Den Halbmesser der Schleifschale, bei welchem der Achromatismus eintrat, notire man sich genau, denn nun ist man in der Lage, aus diesem durch Versuche gefundenen Halbmesser und den drei übrigen angenommenen mit Hilfe der vorher bestimmten Brechungsexponenten der beiden Glasarten nach

den Formeln 25) und 42) auszurechnen, wie groß das Zerstreuungsverhältniß derselben ist, indem man die kleinere Brennweite durch die größere dividirt.

Man kann übrigens, wenn man ganz sicher gehen will, den Versuch noch weiter fortsetzen, um zu ergründen, bei welchem Krümmungshalbmesser das secundäre Spectrum annähernd ein Minimum wird, wobei stets die neu angewendeten Halbmesser genau notirt und die damit gemachten Erfahrungen bemerkt werden müssen.

Das zur Bestimmung des Brechungsindex benutzte Fernrohr M (Fig. 80) kann übrigens auch gleich zur Aufnahme des oben angeführten Versuchsobjectivs eingerichtet werden. Daß das Ocular N ein terrestrisches sei, ist keineswegs nöthig; es kommt hier nicht darauf an, ob man das Bild aufrecht oder verkehrt sieht. Es dürfte sogar das Campanische Ocular sich deshalb noch besser eignen, weil das Bild wegen der Brechung durch zwei, statt durch vier Linsen an Helligkeit noch gewinnen muß.

Das Schleifen und Poliren der Linsengläser.

Die Herstellung der optischen Linsen beruht vor allen Dingen auf der Herstellung möglichst vollkommener Kugelflächentheile nach den durch die Rechnung gefundenen Halbmessern. Je genauer die Form mit den gefundenen Werthen, diese als richtig vorausgesetzt, übereinstimmt, eine desto bessere Wirkung darf man auch erwarten.

Die Methoden, welche man anwendet, um das Glas zu optischen Linsen zu verarbeiten, sind in gewisser Hinsicht verschieden, immerhin bedingen sie aber die Anwendung sogenannter Schleifschalen, in welchen die Gläser ihre Form erhalten.

Man kann im Allgemeinen drei Methoden unterscheiden, und zwar:

1. Das Schleifen aus freier Hand, bei welcher nur die entsprechenden Schleifschalen und Handhaben für die Linsen nöthig sind;

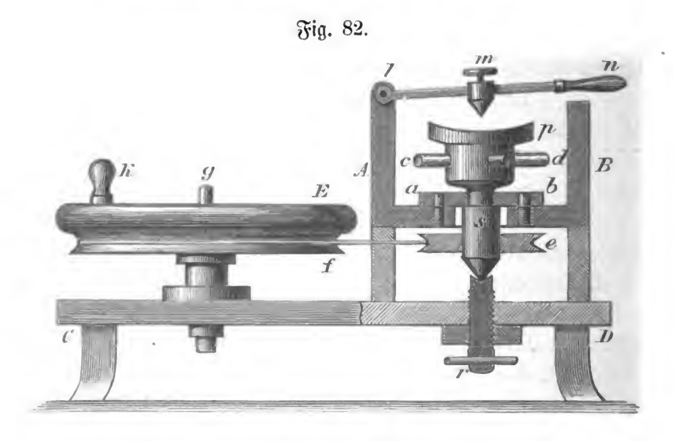
2. das Schleifen mit Hilfe einer Maschine, bei welcher die Schleifschalen auf eine senkrecht stehende Spindel befestigt, und mit dieser durch ein Schwungrad mittelst Schnurlauf in Rotation versetzt werden, und endlich

3. das Schleifen aus dem Radius, wobei die Linsen an dem Ende einer, dem berechneten Radius genau gleich gemachten Stange befestigt werden, welche mit dem anderen Ende in dem zu der zu erzeugenden Kugelfläche gehörigen Centrum leicht beweglich aufgehängt ist. Die Linse, deren Durchmesser senkrecht zur Richtung der Stange steht, wird mittelst letzterer geschliffen und polirt auf der unmittelbar senkrecht darunter stehenden Schale, deren sphärische Fläche in allen Punkten genau so weit von der Mitte des Aufhängepunktes der Stange entfernt ist, als die Länge ihres Radius beträgt.

Die erste und letzte Methode ist mühsam und zeitraubend; namentlich erfordert die erstere viel Geduld, ist aber die am wenigsten kostspielige, und eignet sich nur für kleinere Objective, während die letztere im Gegentheil ziemlich umständlich, kostspielig und mehr auf die Herstellung größerer Objective berechnet ist. Dagegen ist die letztere Methode von allen diejenige, von welcher man die genauesten Resultate

erwarten kann, weil wegen des sich immer gleichbleibenden Radius nicht gut Abweichungen der berechneten Kugelgestalt zu gewärtigen sind. Wir kommen unten darauf zurück. Den geringsten Zeitaufwand beansprucht das Schleifen mittelst der Maschine. Geht man dabei mit der nöthigen Sorgfalt zu Werke, so wird man auch auf diesem Wege eine wünschenswerthe Genauigkeit erzielen. Fig. 82 stellt eine einfache

Fig. 82.



Form derselben zum Theil im Durchschnitt vor. A B ist ein Holzkasten von etwa 30 Cm. Breite und Länge im Lichten und 10 Cm. Höhe aus starkem harten und recht trockenem Holze. Mit den Verlängerungen der Seitenwände A und B nach unten ist derselbe auf einem hinreichend starken, auf drei Füßen ruhenden Brette C D befestigt. Der Boden des Kastens ist in der Mitte durchbrochen und sind auf demselben die Metalllager a und b aufgeschraubt, in welche die Spindel s mit einer Einschnürung so eingepaßt ist, daß sie ruhig und ohne zu schlottern darin sich dreht.

Die Spindel ist von Stahl und sitzt mit ihrer am unteren Ende befindlichen Spitze in einer konischen Vertiefung der in das Brett C D von unten eingeführten, sehr streng gehenden stählernen Holzschraube r, die sich nach Belieben mittelst eines langen Querstückes an ihrem Kopfe anziehen oder lockern läßt. Am oberen Ende trägt die Spindel ein mit derselben auf der Drehbank genau abgedrehtes Schraubenfutter mit vier Stellschrauben c, d u. s. w. zur Aufnahme und genauen Befestigung der Schleifschalen. Da das Holz sich immer etwas verzieht, so ist es besser, die Spindel ähnlich wie die einer Drehbank, in einen eisernen Stock zu legen und diesen auf geeignete Weise in das Gestell zu spannen.

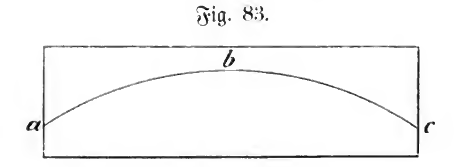
Auf der Spindel sitzt eine Rolle e mit Rinne von etwa 8 Cm. Durchmesser, und auf dem Brette C D neben dem Kasten A B ist ein eisernes Schwungrad R auf eine senkrechte, in einem Schlitze des Brettes näher oder weiter von A B verstellbare, stählerne Achse einfach aufgesteckt. Mit dem Rade, welches ungefähr 40 Cm. Durchmesser hat, ist unterhalb desselben ein hölzerner Schnurlauf f in gleicher Höhe mit e vereinigt. Die über f und e gelegte Schnur kann eben durch Verstellen der Achse g nach Belieben gespannt werden.

Auf dem Rande der Wand A ist eine eiserne Gabel l leicht drehbar befestigt. Diese Gabel dient zur Aufnahme eines eisernen etwa 1 Cm. starken, vierkantigen Eisenstabes, der bei m eine nach unten reichende, mittelst Stellschraube zu befestigende, auf dem Stabe verschiebbare Spitze trägt. Der Stab wird mit l durch einen eisernen, quer durchführenden Stift leicht um denselben beweglich verbunden, und kann also in dem Gelenk l an dem Griffe n in horizontaler und verticaler Bewegung über die darunter befindliche Schale p hin- und hergeführt werden. Das Schwungrad E läßt sich

an dem Griffe K, und somit auch e und die Spindel und Schale in Rotation versetzen.

Die erste Arbeit, welche nun vorzunehmen ist, besteht in der Herstellung der Leeren, nach welchen die Schleifschalen anzufertigen sind. Man nimmt dazu etwa 1 Mm. starkes, recht ebenes Kupferblech, schneidet davon rechteckige Streifen, wie Fig. 83 zeigt, befestigt dieselben unverrückbar auf einem Brette und reißt auf jedem derselben mit einem genau nach der Berechnung gestellten Stangenzirkel die Curve (a b c) an, oder schneidet sie noch besser mit einem scharfen Vorreißer gleich durch, nach welchem die Schleif-

Fig. 83.



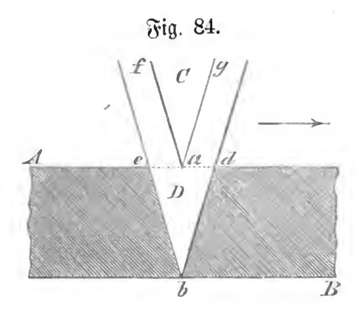
schalen ausgedreht werden sollen. Man erhält auf diese Weise stets eine convexe und concave Leere, auf welchen man den berechneten Halbmesser notirt. Der noch stehen gebliebene Grat wird durch Feilen und Schleifen entfernt.

Die Leeren macht man etwas größer, als die Objectivöffnungen betragen.

Da der Vorreißer, der zum Durchschneiden der Kupferstreifen benutzt wird, an der Schneide in der Ebene des Radius zu dem auszuschneidenden Bogen einen konischen Querschnitt besitzt, so wird der vorher mit der Spitze nur angerissene richtige Bogen durch das tiefere Eindringen der Spitze wieder unrichtig. Um das näher zu erläutern, betrachte man Fig. 84, wo in stark vergrößertem Maßstabe A B den Querschnitt des Kupferbleches, C die Stellung

des Vorreißers, wo er nur mit der Spitze a das Blech berührt, und D die Stellung des Vorreißers vorstellt, wo er im Begriff ist, mit seiner Spitze bei b die untere Fläche des Bleches zu trennen. Offenbar giebt die Spitze a in der Lage C den richtigen Bogen an auf der oberen Fläche A; beim tieferen Eindringen gehen die Ränder, welche in a vereinigt waren, immer weiter nach e und d auseinander, e wird der Bogen eines größeren, d der eines kürzeren Radius, wenn der Mittelpunkt dieses Bogens da liegt, wo der Pfeil hinzeigt.

Fig. 84.



Schließlich bleiben beide Leeren nur an der schmalen Grenze bei b richtig. Es wird daher besser sein, die Spitze des Reißers so zu stellen, daß eine Seite entweder f a oder g a senkrecht zur Fläche A steht, d. h. mit der Richtung a b zusammenfällt; es muß dann wenigstens e i n e Leere durch ihre ganze Dicke richtig werden. Ist dies die convexe Leere, so wird man dann die derselben entsprechende concave Leere durch Umdrehen der Spitze C erhalten. Sind die Leeren fertig, so kann man jetzt zur Herstellung der Schleifschalen schreiten. Sind dieselben nicht allzugroß, so macht man sie durchaus aus Messing. Man läßt nach Modellen, deren krumme Flächen schon annähernd nach den Leeren gedreht sind,

5 bis 10 Mm. dicke scheibenförmige Messingplatten gießen, die auf der einen Seite einen cylindrischen Ansatz A (Fig. 85) besitzen, mit dem sie gerade lose in das Schraubenfutter der Schleifmaschinenspindel passen. Hat man vier verschiedene Flächen zu schleifen, so müssen also vier Paar Schleifschalen angefertigt werden. Jede dieser Schalen wird genau auf der Drehbank nach den Leeren aus-, und der äußere Rand gleichzeitig mit abgedreht. Man erhält dann jedes Mal eine convexe und eine concave Schale, welche gleiche, aber ent-

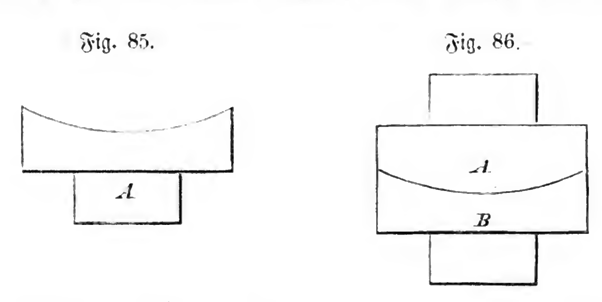


Fig. 85. Fig. 86.

gegengesetzte krumme Flächen besitzen, die daher zusammengehören und zusammenbleiben müssen, wie A und B in Fig. 86. Sind sämmtliche Schalen genau abgedreht worden, so müssen die zusammengehörigen mit sehr feinem Schmirgel ineinander ausgeschliffen werden, bis sie mit ziemlicher Stärke in Folge ihrer Adhäsion aneinander haften. Das Einschleifen geschieht nicht etwa blos, indem man die Schalen in gemeinschaftlicher Achse um- und aufeinander dreht, sondern indem man ihre Flächen in allen möglichen Richtungen übereinander mit einem mäßigen Drucke gleiten läßt.

Müssen die Schleifschalen in einem größeren Durchmesser angefertigt werden, so wendet man nur Messingplatten von etwa 5 Mm. Dicke an, welchen man durch Ausschlagen

bereits die ungefähre Form der Krümmung geben läßt, und die man dann auf die entsprechend (wie A oder B in Fig. 86) geformte, aus Gußeisen gebildete Platte aufkittet und auf der Drehbank nach der Leere genau ausdreht. Für kleine (Ocular-) Linsen genügen cylindrische Formen wie in Fig. 87, von dem Durchmesser des Ansatzes A (Fig. 85). Nach denselben Modellen müssen nun auch vier Paar gußeiserne Schalen hergestellt werden.

Nachdem die Schalen so vorbereitet worden, geht man an die Herrichtung des Glases. Dasselbe muß schon von Anfang an eine Dicke haben, die nicht viel größer sein darf, als die der fertigen Linse, damit man nicht Zeit durch zu vieles Schleifen verliert. Bezeichnet man mit e die halbe Oeffnung der Linse, mit R den einen, und mit r den anderen Kugelhalbmesser, so ist die Dicke der convexen Linse in der Mitte höchstens:

Fig. 87.

$$D = e^2 \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right) \quad 85)$$

und die Dicke der Convexconcavlinse am Rande:

$$D = \frac{3\,e'}{2} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right) \quad 86)$$

Dann muß man mit großer Gewissenhaftigkeit an die Prüfung des optischen Glases gehen.

Zu dem Zwecke müssen die Scheiben auf der breiten Seite, wenn auch nur roh, polirt werden, da die Politur der schmalen Seite an gegenüberliegenden Stellen keine genügende Beurtheilung des Glases gestattet. Es gilt nun, auf drei Arten von Fehlern besonders zu achten, und zwar zunächst

1. auf die allgemeine Reinheit des Glases, wobei zu bemerken ist, daß das Vorhandensein von einzelnen

kleinen Bläschen, Körnchen und Fleckchen weniger ins Gewicht fällt; ferner

2. auf das Vorhandensein von großen, ungleichmäßigen Stellen im Glase, wie der sogenannten Schlieren, Wellen u. s. w., welche andeuten, daß an diesen Stellen die Glasmasse nicht durchaus gleiche Beschaffenheit besitzt. Man entdeckt solche Stellen recht praktisch auf die Weise, daß man die zu prüfende Glasplatte vor einem kleinen Flämmchen fortwährend hin- und herbewegt, dreht und wendet, ohne die Ruhe dieses Flämmchens zu stören, und dabei dasselbe durch das Glas hindurch mit einer Loupe betrachtet. Verzerrt sich die Gestalt des Flämmchens nicht im geringsten Grade, so ist das Glas frei von Schlieren, andernfalls sind dieselben vorhanden und das Glas ist zu einem Objective untauglich. Endlich

3. muß das Glas frei von sogenannten Spannungsfehlern, d. h. seine Abkühlung muß sehr gleichmäßig erfolgt sein. Zur Auffindung dieses Fehlers bedarf man des Polariskops. Das zu unterscheidende Glas muß zu diesem Zwecke von der breiten wie von der schmalen Seite her polirt sein, damit es mit jeder Seite zwischen das Polariskop und die gegen die Richtung des Rohrs um 35 Grad geneigte polirte schwarze Glasplatte gebracht, und durch das Polariskop hindurch beobachtet werden kann.

Die Herstellung des Glases in Linsenform läßt sich in fünf verschiedene Operationen eintheilen, und zwar in das Roh- oder Grobschleifen, Feinschleifen, Poliren, Centriren und Justiren. Das Schleifmaterial darf nur in ganz dünnen feuchten Schichten auf die Schleifschale aufgetragen werden. Es ist hier nicht unwichtig, eine kurze allgemeine Betrachtung darüber einzufügen, wie die Structur geschliffener und polirter Flächen verschiedener Substanzen beschaffen ist. Zunächst

liegt es auf der Hand, daß die Structur der geschliffenen und polirten Oberfläche eines Körpers abhängig sein muß: einmal von dem Material selbst, aus welchem der Körper besteht (da es ja nicht einerlei sein kann, ob dasselbe spröde oder zähe, ob es nach allen Richtungen hin gleichmäßig beschaffen ist oder nicht), das andere Mal von der inneren Beschaffenheit des Schleif- und Polirmittels.

Wenn man sein Augenmerk näher auf die Art und Weise richtet, wie die Wirkung des Schleifens vor sich geht, so findet man, daß die harten, scharfkantigen und spitzen Körnchen des Schleifmittels (als Korund- oder Diamantsteinchen) zwischen den beiden in verschiedenen Richtungen hin und her schleifenden Flächen umherrollen, und mit ihren scharfen Kanten und Ecken in diese Flächen Furchen und Vertiefungen reißen, aussprengen oder eindrücken, deren Beschaffenheit ganz davon abhängt, ob das Material dieser Flächen spröde, zähe oder weich ist. Man erkennt den Unterschied in der Wirkung des Schleifmittels sofort, wenn man die geschliffenen Flächen zweier in ihrer Structur sehr verschiedener Körper unter dem Mikroskop betrachtet. Sind dieselben z. B. Glas und Kupfer, so zeigt sich die geschliffene Glasfläche aus ziemlich gleichmäßigen, stumpfrändrigen, muscheligen Vertiefungen zusammengesetzt, während die geschliffene Kupferfläche lauter unregelmäßige Vertiefungen mit mehr aufgewulsten Rändern besitzt, woraus hervorgeht, daß die Körnchen des Schleifmittels beim Glase mehr durch Wegsprengen der Oberflächentheile, beim Kupfer dagegen mehr durch Eindrücken in das Material das Formen der Fläche besorgt haben. Je nachdem sonach bei einem Körper die eine oder andere Structur vorwiegt, wird man auch immer die eine oder andere Oberflächenstructur vorwiegend ausgeprägt finden. Es ist ferner klar, daß die Größe der Ver-

tiefungen, welche die rollenden, winzigen Steinchen des Schleifmittels hervorgebracht haben, abhängig ist von der Größe der letzteren, von ihrer Härte und von dem Drucke, den man beim Schleifen zweier Flächen aufeinander angewendet hat, und jedenfalls auch abhängig von der Härte der zu schleifenden Substanz, denn je größer dieselbe ist, desto weniger tief werden die Vertiefungen.

Die Politur der geschliffenen Flächen erreicht man nun durch Polirmittel mit weit feineren Körnchen, und besonders dadurch, daß diese Körnchen nicht umherrollen, sondern eine feste Lage erhalten, wodurch recht glatte und gleichmäßige Furchen erzeugt werden, welche in ihrer Form natürlich wieder durch die Größe und Härte der Polirkörnchen und den ausgeübten Druck bedingt werden. Dadurch, daß diese glatten und gleich tiefen Furchen sich nach allen möglichen Richtungen gleichmäßig schneiden, erlangt man eine möglichst glatte Fläche, deren Glätte um so größer wird, je feiner jene glatten Furchen sind. Zum Poliren ganz besonders geeignet erscheinen die zarten Körnchen der Metalloxyde, z. B. die des Eisenoxyds. Das Umherrollen dieser Körnchen wird auf die Weise vermieden, daß man dieselben auf eine Fläche aufträgt, deren Beschaffenheit von der Art ist, daß die Körnchen sich leicht in und an derselben festsetzen und eine unveränderte Lage einnehmen. Vorzüglich hierzu eignet sich eine Pechschicht, bei welcher man das Ankleben der Körnchen dadurch verhindert, daß man das Polirmittel mit Wasser vermengt aufträgt. (Siehe unten.) Indem sich die Oxydkörnchen in die Pechoberfläche eindrücken, bildet sich auf derselben eine dünne Schicht dieser Oxydtheilchen, die sogenannte Polirhaut, mit deren Hilfe allein die Politur erreicht werden kann, so daß die hin und wieder umherrollenden Körnchen dieselbe nur beeinträchtigen. Es kann der Fall

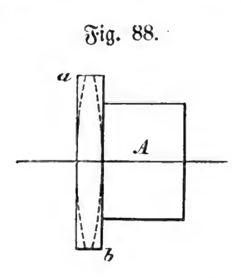
eintreten, daß durch allmäliges Hinzugeben allzugroßer Portionen des Polirmittels die Pechoberfläche mehr davon erhält, als sie zu dem Polirhäutchen zusammenzuhalten vermag, so daß der Ueberschuß in Form loser Körnchen ins Rollen und Schleifen kommt, die anfänglich schon erlangte Politur wieder verdirbt und die Arbeit mit einer anderen Pechschale vom Neuem begonnen werden muß. Daß man außer Pech auch noch andere ähnliche Substanzen nehmen darf, ist selbstverständlich; ja man kann auch die Schleifschalen mit feinem Zeug oder mit Papier u. s. w. überziehen, indessen, es werden die damit erlangten Polituren wegen der gröberen Beschaffenheit der Oberflächen dieser Stoffe auch nicht so fein werden, wie die auf Pech vorgenommenen, was man schon mit Hilfe einer guten Loupe, noch besser aber dadurch wahrnehmen kann, daß man durch Zusammendrücken zweier schwach sphärischer, grob polirter Glasflächen die sogenannten Newton'schen Farbenringe hervorzubringen sucht, die dann keine reinen glatten, sondern mehr körnige Grenzen wahrnehmen lassen.

Glücklicherweise überhebt den praktischen Optiker die berühmte Glasschmelzerei von Schott & Gen. in Jena, wie aus dem Anhange zu ersehen, auch dieser Vorsorge der Glasprüfung, indem sie die zum Schleifen geeigneten Glasscheiben fehlerfrei bis zu ansehnlichen Dimensionen zu verhältnißmäßig äußerst billigen Preisen liefert.

Hat das Glas noch nicht die für die Linse geeignete scheibenförmige Gestalt, so muß es erst durch Verbrechen der Kanten und Ecken roh in dieselbe gebracht, dann auf ein Holzfutter gekittet, und auf der Drehbank durch Schleifen des Randes mit Sand und mit grobem Schmirgel in die richtige Scheibenform verwandelt werden. Das Holzfutter soll einen geringeren Durchmesser haben als das Glas, damit man den Rand des letzteren ungehindert behandeln

kann. Ist das Glas kreisrund geworden, so beginnt man zunächst mit dem **Rohschleifen** desselben, indem man zuerst auf einem Schleifsteine die Ränder a und b (Fig. 88 im Durchschnitt) nach den hier durch punktirte Linien angedeuteten Richtungen wegschleift, für den Fall, daß man es mit einer Convexlinse zu thun hat. Das Holzfutter kann dabei vorläufig auf der Linse bleiben und als Griff dienen. Nachdem dies geschehen, spannt man erst diejenige gußeiserne Schale in die Spindel der Schleifmaschine, nach deren Krümmung die eine Fläche des Glases roh hergestellt werden soll. Man kann dazu gewöhnlichen feingesiebten, in Wasser angefeuchteten Sand verwenden, von dem man ab und zu eine kleine Portion mit einem Löffel in die Schale thut. Während man mit der einen Hand das Schwungrad an der Kurbel in Drehung erhält, drückt man mit der anderen Hand das Glas, dasselbe an dem Holzfutter haltend, mit genügendem Drucke gegen die ziemlich schnell rotirende Schale, wobei man nicht übersehen darf, das Glas mit seiner Fläche in verschiedenen Richtungen über die Fläche der Schleifschale gleiten zu lassen. Auf diese Weise erhält die Linse schon annähernd richtig eine der sphärischen Flächen. Ist diese roh vollendet, so kittet man das Holzfutter auf diese Fläche, um jetzt die anderen in der dazu gehörigen eisernen Schleifschale ebenso zu bearbeiten. Nach Fertigstellung der zweiten Fläche beginnt das **Feinschleifen** der Linse in den entsprechenden genauen Messingschalen. Man spannt zunächst diejenige Schale, deren Fläche derjenigen der zuletzt benutzten eisernen Schale entspricht, in

Fig. 88.



das Futter der Maschinenspindel, so daß sie möglichst centrisch läuft, und nimmt in derselben das Feinschleifen der zuletzt roh fertiggestellten Fläche der Linse vor, wodurch man sich das Umkitten des Holzfutters erspart. Man benutzt anfangs groben, in Wasser angefeuchteten Schmirgel ebenso wie vorhin den Sand. Nach einiger Zeit entfernt man diesen Schmirgel vollständig aus der Schale und ersetzt ihn durch feineren Schmirgel; man fährt so fort, stufenweise immer feineren Schmirgel zu benutzen, bis zuletzt die denkbar feinste Sorte zur Anwendung gelangt, und dadurch eine äußerst feinkörnige, ganz gleichmäßige matte Fläche erreicht worden ist. Den letzten feinsten, der Politur sich nähernden Schliff erzielt man durch Benutzung von fein gepulvertem Bimsstein. Ist diese erste Fläche fertig, so löst man das Holzfutter ab und kittet es auf die letztere. Man überzieht zu diesem Zwecke die Fläche, um sie zu schonen, mit Papier, welches man recht fest aufleimt, und kittet dann darauf, nachdem der Leim getrocknet, das zur Handhabe dienende Holzfutter. Letzteres kann von Anfang an schon mit einer der sphärischen Fläche des Glases angepaßten Fläche versehen worden sein. Die zweite Fläche wird jetzt ebenso geschliffen wie die erste.

Während des Schleifens hat man noch Folgendes zu beobachten. Das Glas muß mit einem recht gleichmäßigen, nicht allzu starken Drucke immer in verschiedenen Richtungen über die Schale geführt, und dabei oft gedreht werden, während man ab und zu neue Portionen Schmirgel in die sich drehende Schleifschale bringt. Nach Zeitintervallen von etwa zehn zu zehn Minuten legt man die Glaslinse bei Seite und nimmt dafür die Gegenschale, um durch Einschleifen die etwa eingetretenen Fehler in der Krümmung der rotirenden Schalenfläche zu corrigiren, wozu etwa eine Minute Zeit genügt, worauf man das Schleifen der Linse wieder zehn

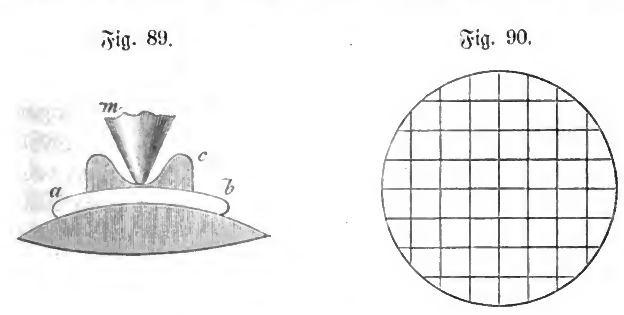
Minuten lang fortsetzt, bis man zur neuen Correctur der Schalenfläche schreitet. Ist auch die zweite Fläche der Linse vollendet, so wird das Holzfutter durch Anwärmen, das Papier durch Aufweichen in Wasser von der Linse entfernt und die letztere in reinem Wasser gereinigt.

Statt des Holzfutters zum Halten der Linse beim Schleifen kann man sich bei größeren Linsen einer (Fig. 89) im Durchschnitt gezeichneten Platte a b bedienen, deren Fläche auf der Drehbank annähernd die Gestalt der Fläche des Glases erhalten hat, auf welche diese Platte aufgekittet werden soll. Auf der äußeren Fläche hat diese Platte einen Ansatz c mit einer konischen Vertiefung, in welche die Spitze m des Führers n (Fig. 82) zu stehen kommt, wenn die Linse zum Schleifen in die Schale gebracht worden ist. Die Spitze m soll nicht scharf, sondern rundlich abgestumpft sein. Die Platte a b wird (wie vorhin das Holzfutter) aufgekittet und, während der Kitt noch weich ist, mit Hilfe eines Zirkels so gerückt, daß die konische Vertiefung gerade über die Mitte der Linse zu liegen kommt. Je größer die Linse, desto größer muß auch die Platte a b (Fig. 89) genommen werden; auch darf man dann dieselben nicht mehr in ihrer ganzen Ausdehnung, sondern nur an einzelnen symmetrisch gelegenen Stellen aufkitten, um ein Verziehen des Glases zu verhüten. Die Spitze m, welche seitwärts von der Mitte der darunter befindlichen Schale in die konische Vertiefung der Platte a b eingreift, dient dazu, die daran befestigte Linse in der Schleifschale, während letztere sich dreht, und während mittelst des Griffes n die Spitze m nach unten gedrückt und hin- und hergeführt wird, in gleitender und in, um die Spitze rotirender Bewegung über die Schalenfläche hin zu erhalten.

Nachdem das Schleifen der Flächen beendigt worden, schreitet man zum Poliren derselben. Zu dem Zwecke müssen

die Flächen der Schalen erst ganz besonders vorgerichtet werden, was auf verschiedene Weise zu geschehen pflegt. Eine besonders häufig gebrauchte Methode ist die mittelst einer Masse aus gleichen Theilen Pech und Kolophonium. Man versieht die Fläche der Schleifschale, wozu man die entsprechende Fläche einer eisernen Schale nehmen kann, mit einer etwa 4 Mm. hohen Schicht dieser Masse, die man dadurch rein von störenden körnigen Beimischungen erhält, daß man sie noch fließend durch ein Stück feine

Fig. 89. Fig. 90.



Leinwand drückt und auf der ziemlich warmen Schleifschale gleichmäßig ausbreitet. Sobald die Harzschicht zäh zu werden beginnt, drückt man in diese die völlig kalte und reine messingene Gegenschale, so daß die Harzschicht die genaue Form der Krümmung dieser Schale erlangt. Die Gegenschale läßt man so lange auf der Harzschicht ruhen, bis sich Alles abgekühlt hat. Die Schale mit der Harzschicht wird nun in die Maschine gespannt, und es geschieht mittelst sogenanntem Caput mortuum (Kolcothar oder englisches Roth), ebenfalls nach verschiedenen Graden der Feinheit desselben, das Poliren der Flächen. Auch das Caput mortuum muß gehörig von reinem Wasser durchfeuchtet sein. Da nicht selten

während dieser Arbeit sich Pechtheilchen loslösen und als Körnchen zwischen den Flächen kleine Risse in der Glasfläche erzeugen, so pflegt man, ehe man zu poliren anfängt, in der Harzfläche in 10 bis 20 Mm. Entfernung von einander, etwa 3 Mm. breite, zu einander parallele und senkrechte Furchen (Fig. 90) zu schneiden, welche zur Aufnahme aller überflüssigen und schädlichen Theile bestimmt sind. Da auch hier mit der Zeit eine Unrichtigkeit der Pechfläche sich einstellen kann, so nimmt man von Zeit zu Zeit ein Ausschleifen derselben mit der Gegenschale vor, ohne aber dabei die vorher vorzunehmende Reinigung der Schale zu vergessen. Ab und zu muß man sich auch überzeugen, wie weit der Grad der Politur vorgeschritten ist, und der Anfänger wird gut thun, durch Vergleich mit der Politur eines fertigen und guten Objectivs aus einer renommirten Anstalt zu erforschen, wie viel noch zu arbeiten übrig bleibt, um einen gleichen Grad von Vollkommenheit zu erreichen.

Statt der Pechschale zum Poliren kann man, wie oben schon angedeutet, sich auch eines Ueberzuges bedienen aus einem Stoffe von recht gleichmäßigem Gewebe und ohne Knötchen. Man schneidet denselben der Schale entsprechend groß und leimt ihn mittelst Kolophonium auf die Fläche der Messingschale, welche eben benutzt werden soll. Die Schale wird zu dem Zwecke über einer Spiritusflamme heiß gemacht, so daß das Harz darauf sofort schmilzt. Man schüttet daher klar gestoßenes Kolophonium in ein feines Leinwandläppchen, macht daraus ein Bäuschchen, und streicht mit demselben über die heiße Schalenfläche hin, wobei das Kolophonium schmilzt, klar und rein durch die Leinwand sickert und auf der Schalenfläche eine flüssige klebrige Schicht bildet, über welche schnell der zugeschnittene Stoff mittelst eines Falzbeins glatt, fest und möglichst gleichmäßig aus-

gestrichen wird. Die entstehenden Falten müssen mit einem scharfen Messer, nachdem das Ganze sich genügend abgekühlt hat, ganz glatt weggeschnitten werden. Man kann aber auch vorher durch genaues Anpassen des Stoffes an die Fläche erfahren, wie viel in Sectorenform aus demselben vor dem Aufziehen herausgeschnitten werden muß, damit der Ueberzug gleich von vornherein beim Aufkleben überall gleichmäßig aufzuliegen kommt. In der so vorbereiteten Schale wird nun das Poliren mittelst Kolcothar wie oben ausgeführt.

Es kann nicht genug betont werden, daß bei Fernröhren mit der Größe der Objective, wie bei Mikroskopen mit der Kleinheit der ersteren auch die Sorgfalt und Mühe wächst, die auf die Ausführung derselben zu verwenden ist, daß in verschiedenen besonderen Fällen der ausübende Künstler seine ganze Aufmerksamkeit zusammennehmen muß, gewissen Hindernissen und Störungen, an welche vielleicht vor der Ausführung gar nicht zu denken war, erfolgreich zu begegnen.

Besonders aber achte er darauf — um das oben Gesagte nochmals zu wiederholen — daß beim Poliren kein loses Polirtheilchen in der Schleifschale herumrollt. Da selbst der beste und feinste im Handel zu beziehende Schmirgel, sowie das feinste Caput mortuum nicht frei von Bestandtheilen ist, welche die Herstellung einer vollkommen fehlerfreien Fläche unmöglich machen, so muß man sich selbst die verschiedenen Grade der Feinheit und Reinheit auf dem Wege des Schlemmens herzustellen suchen. Man benutzt dazu etwa fünf völlig reine Glasgefäße, füllt das eine zum Theil mit Wasser, und schüttet in dasselbe ein ziemliches Quantum feinen Schmirgels. Nach etwa 10 Secunden gießt man das Wasser dieses Gefäßes von dem Bodensatze völlig ab in ein zweites, nach 10 Secunden dieses wieder in ein drittes Gefäß u. s. f., bis man das Wasser endlich in das letzte Gefäß

geschüttet hat. Die in den einzelnen Gläsern zurückgelassenen Bodensätze bilden nun Schmirgel von verschiedenen Graden der Reinheit, so daß der im letzten Gefäße zurückgebliebene der feinste Schmirgel geworden ist. Man kann, wie leicht ersichtlich, diese Verfeinerung je nach Bedarf noch weiter treiben, wenn man noch mehr Gefäße dazu benutzt. Die letzteren werden genügend zugedeckt und gegen das Eindringen fremder Körper geschützt.

Dasselbe Verfahren schlägt man auch ein zur Herstellung der verschiedenen feinen und gleichmäßigen Kolcotharsorten. Die gewöhnlich in dem im Handel vorkommenden Kolcothar enthaltene geringe Beimischung von Schwefelsäure entfernt man erst durch Uebergießen mit heißem Wasser, nachherigem Umrühren und wieder Abgießen desselben.

Feine, unter dem Grade der Feinheit des Schleif- oder Polirmittels stehende Körnchen können oft den praktischen Optiker wegen ihrer fortwährend wiederkehrenden schädlichen Wirkung zur Verzweiflung bringen, indem es ihm nicht immer leicht wird, sie wegen ihrer Feinheit aufzufinden oder sonst auf irgend welche Weise unschädlich zu machen.

Es wird im Allgemeinen die sphärische Form der Linsenflächen, weil sie am leichtesten hergestellt werden kann, vor allen anderen immer den Vorrang behaupten; nichtsdestoweniger kann aber auch aus gewissen Gründen die Absicht rege werden, einen Versuch mit der Herstellung anders gekrümmter Flächen zu machen, wie es z. B. die parabolischen, elliptischen und hyperbolischen sind. Die mechanische Ausführung solcher Flächen kann vielleicht zur Lösung wichtiger Probleme beitragen, und es würde sich dann auch ein solcher Versuch der Mühe lohnen. Die zu diesem Zwecke nöthigen Maschinen werden natürlich weniger einfach sein können, als die zur Herstellung sphärischer Linsen, weil ihre Construction

lediglich darauf beruhen kann, nach dem Principe der Entstehung der Rotationsflächen an dem zu schleifenden Glaskörper, während er um eine bestimmte Achse rotirt, einen zweiten schleifenden Körper nach einem bestimmten Gesetze so angreifen zu lassen, daß sich nach und nach eine Fläche von vorher bestimmter Form nothwendig bilden muß. Es ist hier nicht der Ort, näher auf die Construction solcher Maschinen einzugehen, es sollte nur kurz die Möglichkeit derselben angedeutet, und zugleich die Anregung dazu gegeben werden, einen Versuch zum Fortschritt auf dem Gebiete der optischen Glasschleiferei zu machen.

Wie nun die oben angeführte einfache Schleifmaschine lediglich zum Handbetrieb eingerichtet ist, so läßt sie sich auch im größeren Maßstabe zum Fußbetrieb oder gar zum Betriebe mittelst irgend welchen Motors construiren. Das ganze Gestell kann, demjenigen einer Drehbank gleich, aus Eisen gefertigt, das Schwungrad senkrecht aufgestellt, der Hebel l n (Fig. 82) mit einem verstellbaren Gewichte verbunden werden, wodurch der Druck auf die über die Schleifschale hin und her zu führende Linse stets in ein und derselben gleichmäßigen Größe erhalten bleibt, was für das Gelingen einer durchaus sphärischen Form der Linsenfläche von großem Vortheile ist. Je weiter das Gewicht nach l hin verschoben wird, desto kleiner, je weiter nach n hin, desto größer ist der von ihm ausgeübte Druck.

Die Herstellung ebener Glasflächen durch Schliff und Politur, welche übrigens in der praktischen Optik eine hervorragende Rolle spielt, geschieht natürlich mit Hilfe ebener Schleifscheiben, die man im Durchmesser möglichst groß nehmen muß, und von welchen immer ein Paar als zusammengehörig einzurichten sind. Solcher Scheibenpaare muß der praktische Optiker stets mehrere vorräthig haben und

darauf achten, daß ihre ebenen Flächen so viel als möglich dem Begriff der mathematischen Ebene entsprechen. Je größer aber der Durchmesser solcher Scheiben ist, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit, daß bei einem während des Schleifens auf dieselben nach dem Rande hin ausgeübten Drucke ein Durchbiegen oder ein Steigen der Scheibe an der Druckstelle, d. h. ein Abweichen von ihrer ursprünglichen Form, wenn auch noch so wenig, eintreten kann, denn die Scheibe sitzt ja nur in ihrem Centrum fest auf der Spindel der Schleifmaschine auf, hat also da allein ihren Stützpunkt. Um diese Abweichung von der ursprünglichen Gestalt nach Möglichkeit zu verhindern, ist es nöthig, die Scheibe an ihrer unteren Seite vom Centrum aus mit, nach dem Rande hin verlaufenden Verstärkungsrippen zu versehen, die Schleifmaschinenspindel recht stark auszuführen und dem Spindelkopfe einen großen Durchmesser zu geben, damit die Scheibe eine recht breite Unterlage erhält. Das Schleifen sehr genauer ebener Flächen ist mit mehr Mühe verbunden, als dasjenige der sphärischen Flächen, weshalb z. B. die zu genauen optischen Instrumenten anzufertigenden Glasbestandtheile wie z. B. Prismen, ebene Platten u. s. w., ziemlich hoch im Preise zu stehen kommen. Schon das Grobschleifen muß mit großer Vorsicht begonnen, und dazu ganz feiner Sand mit durchaus gleichem Korn genommen werden.

Das Schleifen und Poliren der feinen Mikroskopobjective verlangt ebenfalls eine große Aufmerksamkeit und Sorgfalt. Die kleinen sphärischen (vertieften oder erhabenen) Flächen, in welchen die Linsen ihre sphärische Form erhalten, müssen genau nach dem berechneten Halbmesser ausgeführt, und fort und fort corrigirt werden. Während bei einem Fernrohrobjectiv ab und zu ein Bläschen oder Staubkörnchen die Güte desselben nicht beeinträchtigen kann, darf auch dieser

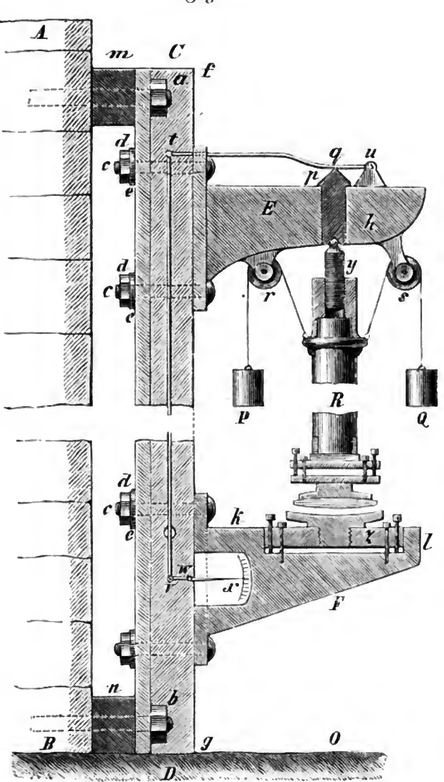
Fehler beim Mikroskopobjectiv wegen der Kleinheit desselben nicht vorkommen; das Glas dazu muß also absolut rein und frei sein. Um Linsen von so geringen Dimensionen auszuführen, muß man natürlich wieder Glas von entsprechender Dicke nehmen; man findet dasselbe in Plattenform, aus welchem man nur die kleinen Scheiben zu schneiden hat, welche denselben Durchmesser erhalten, wie die daraus zu fertigenden Linsen. Man formt zu diesem Zwecke jede Scheibe erst roh im Durchmesser etwas reichlich und kittet sie auf ein Metallstäbchen, dessen Durchmesser ein wenig kleiner ist als der berechnete. Die Fläche, auf welche das Glas aufzukitten ist, muß möglichst senkrecht zur Achse des Stäbchens stehen; man erreicht dies auf der Drehbank, auf welche letzteres eingespannt wird, so daß es genau centrisch läuft, während jene Fläche mit dem Drehstahl (nach ihrer Mitte etwas vertieft) abgestochen wird. Auch das Aufkitten der Glasscheibe kann unmittelbar, nachdem diese Fläche vollendet, auf der Drehbank vorgenommen werden. Man erwärmt letztere daher genügend mittelst einer Spiritusflamme, bringt ein Tröpfchen Siegellack darauf, drückt auf dieses und an die Fläche des Stäbchens das vorher hinreichend erwärmte Glasscheibchen, und drängt und schiebt letzteres mittelst eines Holzstäbchens, während das Siegellack noch weich ist, so lange hin und her und gleichzeitig fest andrückend, bis es mit dem Stäbchen zugleich genau um seine Achse läuft. In dieser rotirenden Lage wird nun der Rand der zukünftigen Linse genau und kreisrund geschliffen. Nachdem das Glasscheibchen so vorbereitet worden, wird das Stäbchen mit dem letzteren von der Drehbank abgenommen, und das Schleifen und Poliren der Linse begonnen, indem man das Glas an diesem Stäbchen hält und in die Schale drückt. Man macht dabei dieselben Stadien des Roh- und Feinschleifens und Grob- und Feinpolirens

durch, wie bei den Objectiven, und muß stets darauf bedacht sein, nur ganz geringe Spuren des Schleif- und Polirmittels hin und wieder frisch zuzugeben. Da bei so kleinen Linsen verhältnißmäßig nur geringe Glasmengen durch diese Operationen zu entfernen sind, so braucht man letztere gar nicht erst mit den gröbsten Schleifmitteln anzufangen, man kann gleich beim Beginn schon eine feinere Schmirgelsorte nehmen.

Das Schleifen aus dem Radius, welches, wie schon oben erwähnt, die genauesten und zuverlässigsten Resultate gewährt, empfiehlt sich stets bei der Ausführung größerer Objective, vielleicht von 60 Mm. Durchmesser an, und wird mit Hilfe folgenden Apparates vorgenommen. An der senkrechten Wand einer aus starken Mauersteinen zu einem Ganzen zusammengefügten Mauer A B (Fig. 91), welche nicht wanken und weichen kann, sind zwei starke eiserne Träger C D ähnlich wie die Wangen einer Drehbank parallel nebeneinander genau senkrecht durch vier mit Schrauben, und Muttern versehene Bolzen, von welcher nur a und b in der Figur sichtbar, befestigt. Durch die eisernen Zwischenplatten m und n werden sie aber von der Wand A B in einem so großen Abstande gehalten, daß die Bolzenenden c, die Muttern d und die Platten e bequem Platz haben, respective angebracht werden können, durch welche die Theile E und F (wie der Spindelstock und Reitstock einer Drehbank) auf und zwischen den Trägern C D festgestellt werden. Die vorderen Flächen f g müssen daher ganz gradlinig und eben hergestellt und genau senkrecht sein, ferner muß das Stück E, welches wir den Aufhängestock (mit der »Prechtel'schen« Aufhängung), sowie F, welches wir den Schleifstock nennen wollen, genügend auf den Flächen f g auf- und zwischen denselben genau eingeschliffen sein, damit sie sich stets gleichmäßig und sicher auf und ab verschieben und beliebig feststellen lassen. Die Theile

E und F sind gleichfalls aus Eisen. Die Länge der Träger CD hängt von der Länge der Radien ab, aus welchen man das Schleifen und Poliren der Linsengläser vornehmen will.

Fig. 91.



Sie müssen so lang sein, daß der längste Radius, bis zu welchem der praktische Optiker das Schleifen noch vor-

nehmen zu müssen glaubt, nach gehöriger Ein- und Feststellung der Theile E und F bequem die Strecke zwischen den Knöpfchen, respective der konischen Vertiefung h und der Schleifschalenfläche auszufüllen vermag. Die Fläche k l soll horizontal, also senkrecht zu f g, und so hoch über dem Fußboden liegen, als etwa die Tischhöhe beträgt. In dem Theil E, genau in der Mitte zwischen seinen beiden Seitenflächen, ist eine cylindrische Oeffnung von ungefähr 2 Cm. Durchmesser eingedreht, in diese ein Cylinder p aus Hartguß eingepaßt und gut eingeschliffen, der nach oben hin in eine kegelförmige Spitze endigt, einen das gänzliche Herausfallen hindernden hervorspringenden Rand und an seiner Basis eine konische Vertiefung h besitzt. Dieser Cylinder ist in der Richtung seiner Achse und lothrecht, also parallel zu f g auf und ab beweglich, ohne zu schlottern, und ungefähr 10 bis 15 Cm. hoch. Auf die Spitze q des Cylinders p stützt sich mit einer geringen Vertiefung 5 Cm. von seinem Drehpunkt u entfernt ein Fühlhebel u t, der an seinem langen etwas zur Seite gebogenen Ende t in einem Gelenke eine Zugstange t v trägt, welche wieder an dem kurzen Ende v eines zweiten, um w drehbaren Fühlhebels v x beweglich befestigt ist, so daß die geringste Hebung und Senkung der Spitze q bequem und deutlich an der Bewegung der Spitze x über einen eingetheilten Bogen beobachtet werden kann. Der Aufhängestock E besitzt an der unteren Seite zwei gabelförmige Ansätze, in welchen sich zwei Rollen r und s befinden für die Gegengewichte P und Q, welche an festen Schnuren die Radiusstange R tragen und zwingen, mit dem oberen kugelförmigen Ende h fest und sicher in der entsprechenden konischen Vertiefung des Cylinders p zu ruhen. Dieses möglichst genaue kugelförmige Knöpfchen hat ungefähr 5 Mm. Durchmesser, ist von glashartem Stahl und fein polirt, und bildet mit seinem Centrum den Mittel-

punkt der Radiusstange, oder besser, den Mittelpunkt der von der Radiusstange zu beschreibenden Kugelfläche. Auch die Innenfläche der kleinen kegelförmigen Vertiefung an der Basis des Cylinders p muß fein und sauber ausgeführt sein. Das Knöpfchen bildet zugleich das Ende eines cylindrischen, mit flachem Schraubengewinde versehenen Metallstückes, welches sich nur sehr streng mittelst Schraubenschlüssels in einen metallenen, das obere Ende der Radiusstange bildenden Schuhes einschrauben, und nach Belieben verstellen läßt. An zwei Oesen eines lose um diesen Schuh innerhalb einer Nuth drehbaren metallenen Ringes sind die Schnuren der Laufgewichte P und Q befestigt, wie Fig. 91 darstellt. Das untere Ende der Radiusstange bildet ein mit einem kreisförmigen Plattenpaar versehener Schuh. Das Plattenpaar wird durch drei Paar Stellschrauben, wovon drei Zug- und drei Druckschrauben sind, zusammengehalten. Die untere Platte dient dazu, den Griff, auf welche die Linse aufgekittet ist, oder eine Schleifschale aufzunehmen; sie enthält daher in ihrem Centrum eine Oeffnung, in welche dieser Griff oder die Schleifschale fest eingeschraubt wird. Das Haupt- und Mittelstück verfertige man aus einzelnen Stäben recht trockenen Fichtenholzes, die so zu einem Ganzen vereinigt werden, daß ein Verziehen nicht leicht möglich ist. Zuletzt wird dieser Holztheil mit siedendem Oel getränkt und mit Leinölfirniß überzogen, um ihn gegen das Werfen durch Feuchtigkeit zu schützen.

In dem Schleifstock F ist eine Platte eingelassen, welche ebenfalls durch drei Paar Stellschrauben (drei Druck- und drei Zugschrauben) an demselben befestigt und beliebig gerichtet werden kann; sie ist gleichfalls durchbohrt, um den Griff aufzunehmen, auf welchem die zu schleifende Hohllinse aufgekittet ist, oder die Schleifschale, in welcher die an der

Radiusstange befestigte Convexlinse geschliffen werden soll. Befindet sich die ganze Aufhängevorrichtung, die Radiusstange u. s. w. im Zustande der Ruhe und des Gleichgewichtes, so muß die Achse des Cylinders p, das Centrum des Knöpfchens h, die Achse der Radiusstange, dann diejenige der zum Einschrauben bestimmten Oeffnung der unteren Platte der Radiusstange, sowie die der Oeffnung in der in F eingelassenen Platte in einer einzigen geraden senkrechten Linie liegen. Es ist nun klar, daß kein praktischer Optiker sich eine solch' vollkommene und kostspielige Vorrichtung zum Schleifen aus dem Radius sich anschaffen wird, wenn er nicht von vornherein die Absicht hat, die Ausführung genauer und werthvoller Objective zu einer seiner Hauptthätigkeiten zu machen. Er wird daher auch von Anfang an sich schon darüber einen Plan machen, von welcher Größe an, und bis zu welcher Größe er Fernrohrobjective mittelst obiger Vorrichtung herzustellen gedenkt, um darnach gleich die Dimensionen der letzteren bemessen zu können; er wird endlich sich überlegen, wie viel Größensorten von Fernröhren er anfertigen will, und wie viel verschieden lange Radiusstangen dazu erforderlich sein werden. Wie wir bereits wissen, so sind zu jedem achromatischen Fernrohrobjectiv wegen der vier Linsenflächen vier verschiedene Radien zu berücksichtigen nothwendig; da aber die Radien der zweiten und dritten Fläche nicht sehr von einander abweichen, so würde jedes Fernrohrobjectiv sonach die Anfertigung von nur drei verschiedenen Radiusstangen nöthig machen, da das Schleifen und Poliren der zweiten und dritten Fläche mittelst ein und derselben Stange (deren Länge ja nur durch das mit dem Knöpfchen h versehene Endstück y corrigirt zu werden braucht) besorgt werden kann. Diese drei Radiusstangen sind stets für ein und dasselbe Objectiv gut aufzubewahren und womöglich in einem be-

sonderen Fache eines größeren Repositoriums zu verschließen, so daß zuletzt so viel verschiedene genau bezeichnete Fächer eingerichtet sein werden, als je drei zusammengehörige Radiusstangen vorräthig sind.

Wir wollen nun annehmen, es sei ein Objectiv von 240 Cm. Brennweite und 13,4 Cm. Oeffnung herzustellen, dessen vier Flächen durch folgende vier Radien bestimmt sind:

Radius der	1. Fläche	147,62	Cm.
» »	2. »	69,39	»
» »	3. »	66,7	»
» »	4. »	193,95	»

Die Flächen 1, 2 und 4 seien convex, die Fläche 3 sei concav.

Will man nun möglichst schnell damit fertig werden, so ist es am besten (abgesehen davon, daß auch die Radiusvorrichtung dadurch weit mehr geschont wird), das Objectiv erst auf einer Schleifmaschine der oben (Seite 172) beschriebenen, aber vielleicht etwas größeren Art soweit fertig zu stellen, daß nur noch das Feinschleifen und Poliren aus dem Radius vorzunehmen übrig bleibt. Zu dem letzteren Zwecke ist es zuvörderst nöthig, das Einstellen der Radiusvorrichtung auf den berechneten Radius vorzunehmen. Dies geschieht, wenn zunächst die erste Fläche des obigen Objectivs geschliffen werden soll, indem man die derselben entsprechende Schleifschale in die Platte Z des Schleifstocks F (Fig. 91) spannt, und dann, nachdem dies stattgefunden, mittelst einer geraden Stange aus trockenem (wie oben angegeben) gut gefirnißten Tannenholz, welche an dem einen Ende mit einem genau eben so großen Kügelchen wie h, an dem anderen Ende mit einer etwas stumpfen Spitze versehen, und mittelst eines Stangenzirkels genau 147,62 Cm. lang gemacht worden ist, die Entfernung zwischen der Schleifschalenfläche und der

kegelförmigen Vertiefung h des Cylinders p bestimmt. Man stemmt zu diesem Zwecke diese »Meßstange« mit dem Kügelchen in den hohlen Kegel h, während ein Gehilfe den Aufhängestock E, nachdem er die Muttern d gelüftet, so lange verschiebt, bis man mit dieser Meßstange und mit ihrer stumpfen unteren Spitze die Fläche der Schleifschale gerade trifft; man setzt sie in der Mitte der Schleifschale auf und läßt den Aufhängestock E vom Gehilfen nur um einen geringen Betrag (etwa um 2 Mm.) niedriger als die soeben abgemessene Entfernung betrug, durch Anziehen der Muttern d wieder feststellen; der Cylinder d wird in Folge des von der Meßstange nach oben ausgeübten Druckes um 2 Mm. nach oben verschoben, und diese Verschiebung durch den Stand der Zeigerspitze x angezeigt. Man versucht nun alle Stellen der Schleifschalenfläche bis an ihren Rand mit der stumpfen Spitze der Meßstange zu streifen, während sie mit ihrem Kugelende bei h verbleibt, und beobachtet dabei das Zeigerende x; schwankt dasselbe mehr oder weniger beträchtlich während des Begehens der Schleifschalenfläche, so ist das ein Beweis, daß dieselbe nicht genau gleichweit vom Centrum der Kugel h entfernt, daher durch Verstellen der Platte Z so lange in ihrer Lage zu corrigiren ist, bis x unveränderlich auf einem Punkte stehen bleibt. Jetzt kann man an die Berichtigung der Radiusstange gehen. Man schraubt an die unterste Platte derselben zunächst die der obigen Schale entsprechende Gegenschale, macht die Entfernung ihrer unteren Fläche vom Mittelpunkte der Kugel h gleich 147,62 Cm., setzt sie an die Stelle der Meßstange, hängt die Gewichte P und Q ein, die zusammen ungefähr so schwer sein müssen, daß sie dem Gewichte der Radiusstange und dem Drucke des Cylinders p von oben auf dieselbe das Gleichgewicht halten. Fällt dabei die Fläche der Gegenschale nicht genau

mit derjenigen der ersten Schale zusammen, so muß dies durch geeignetes Verstellen der Platten am unteren Ende der Radiusstange erst herbeigeführt werden. Jetzt wird das Ineinanderschleifen der beiden Schalen, und dadurch die etwa nothwendige Justirung derselben vorgenommen. Ist das geschehen, so schraubt man statt der Gegenschale die bereits schon ziemlich fertig geschliffene Glaslinse mit ihrer Fassung an die untere Platte am Ende der Radiusstange R, stellt sie gehörig ein, und schleift und polirt sie vollends fertig, wobei darauf zu achten ist, daß die Temperatur im Arbeitslocale stets dieselbe (etwa 15 Grad R.) bleibt. Das letztere, d. h. das Schleifen und Poliren geschieht in der Weise, daß man das untere Ende der Radiusstange mit der einen Hand erfaßt und die Glaslinse mit einem gewissen Drucke nach allen Richtungen kreuz und quer, die Radiusstange um ihre Achse drehend über die Schleifschale hin und her gleiten läßt, bis die gehörige Reinheit und Gleichmäßigkeit der ersten Glasfläche erlangt worden ist, wobei die Zeigerspitze x unverändert auf ein und denselben Punkt der Bogenscala zeigen muß. Wie die erste Fläche des Objectivs, so wird auch die zweite und vierte Fläche, jede mit einer anderen Radiusstange und anderen Schleifschale fertig gestellt.

Die dritte Objectivfläche, welche hohl ist, wird mit Hilfe der zweiten Radiusstange und der Convexschale (zur dritten Fläche) geschliffen und polirt. Die schon auf der Schleifmaschine genügend vorbereitete hohle Flintglaslinse wird daher mit ihrem Griffe auf die Platte Z geschraubt und senkrecht zum Radius eingestellt, so daß die hohle Fläche die Außenfläche ist, welche nun mittelst der convexen Schale fein geschliffen und polirt werden kann. Stets achte man darauf, daß der Zeiger x völlig zur Ruhe gekommen ist, ehe man mit der Arbeit aufhört. Daß die Schleifschalen vorher, ehe das

Poliren begonnen wird, einen Pechüberzug erhalten haben, daß sie überhaupt so vorbereitet sein, und behandelt werden müssen, wie oben schon beim Schleifen und Poliren mit der Maschine angegeben, haben wir stillschweigend als bekannt vorausgesetzt, nur dürfte hier eine sehr lästige und zeitraubende Arbeit in Wegfall kommen, d. i. das in kurzen Zwischenräumen immer zu wiederholende Justiren der Schleifschalen, das ja bei der Radiusvorrichtung niemals nöthig ist, weil dasselbe mit dem Schleifen und Poliren zugleich von selbst geschieht.

Mit dem Zusetzen des Schleif- und Polirmittels sei man vorsichtig, nehme nur immer wenig auf einmal, und breite dasselbe gleichmäßig auf der Schale respective hohlen Glasfläche aus, wozu sich statt eines Löffelchens noch besser ein Pinsel eignet, der gerade so viel aufnimmt, als momentan von dem Schleif- respective Polirmittel nöthig ist. Die Gefäße (Gläser), welche die Schleif- und Polirmittel in verschiedenen Graden der Feinheit enthalten, müssen gut zugedeckt und geschützt aufbewahrt werden.

Das Centriren der Gläser, des Objectivs und des ganzen Fernrohrs.

Eine Linse, die noch so genau nach den berechneten Krümmungshalbmessern geschliffen, und noch so fein und sauber polirt worden ist, wird für ein optisches Instrument, wie es ein gutes Fernrohr oder ein gutes Mikroskop sein

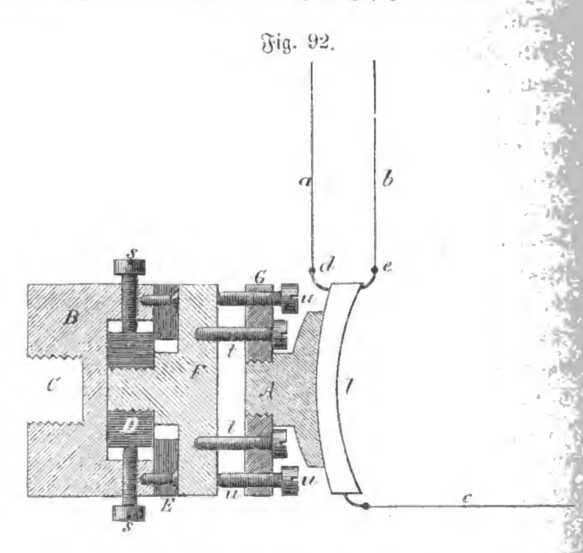
soll, beinahe werthlos, wenn sie nicht centrirt, d. h. so eingerichtet ist, daß ihre optische Achse gerade durch den Mittelpunkt des Kreises geht, welchen der Rand der Linse bildet. Bei Sammellinsen erkennt man sofort, daß sie centrirt sind, wenn die beiden Flächen derselben eine scharfe kreisförmige Kante bilden. Bei Hohlgläsern hingegen muß der Rand eine überall genau gleich breite cylindrische Fläche sein.

Will man sich noch genauer davon überzeugen, ob eine Linse genügend centrirt ist, so kann man zwei Methoden der Untersuchung anwenden, diejenige mit Hilfe der Spiegelbilder, und die noch genauere mit Hilfe der Fühlhebel. Bei der ersteren Methode kommt es darauf an, daß die Linse auf eine Vorrichtung gekittet und in die Drehbank gespannt, so rotirt, daß die sich in derselben spiegelnden beiden Bilder einer fernstehenden Kerze eine vollkommen ruhige Stellung einnehmen. Man kann dann versichert sein, daß die optische Achse der Linse mit derjenigen der Drehbankspindel genau zusammenfällt. Die Linse steht also centrisch und senkrecht auf dieser Achse. Nimmt man nun wahr, daß auch der Rand während der Umdrehung vollständig ruhig und scharf erscheint, als ob er sich gar nicht drehe, so ist die Linse centrirt. Zeigt aber der Rand ein deutliches Schleudern, so muß er in derselben Lage der Linse erst richtig geschliffen werden.

Wenn die Spiegelbilder der Kerze sich aber bewegen, so muß die Linse so lange verschoben werden, bis das Stillstehen der Bilder eintritt. Es eignet sich am besten hierzu ein Spindelkopf, wie ihn Fig. 92 erläutert. Die Linse muß zu dem Zwecke auf einem Griffe A mit entsprechender Grundfläche senkrecht zur Achse desselben aufgekittet sein, damit sie mit demselben in den Spindelkopf geschraubt und mittelst desselben gerichtet werden kann. Letzterer besteht zunächst

aus dem cylindrischen Metallstück B, welches auf der einen Seite ein Schraubengewinde C enthält zum Aufschrauben auf die Drehbankspindel, auf der anderen Seite dagegen so tief und weit cylindrisch ausgedreht ist, daß in diese Vertiefung eine cylindrische Metallplatte D mit einem mehrere Millimeter breiten Spielraume (am Rande) eingesetzt werden kann, welche

Fig. 92.



durch die vorgeschraubte Platte E in ihrer Lage nur so festgehalten wird, um sich mittelst vier Stellschrauben s innerhalb ihres Spielraumes verschieben und feststellen zu lassen. Da mit der Platte D die Platte F fest verschraubt, und diese wieder durch die Zugschrauben t und die Druckschrauben u (drei von jeder Art) mit der Platte G, dem Griffe A und der Linse l verbunden ist, so muß mit der seitlichen Verschiebung der Platte D zugleich diejenige der Linse l ver-

bunden sein. Man hat es sonach in der Gewalt, mit Hilfe der Schrauben s, t und u die Linse l so zu stellen und zu richten, daß ihre Achse genau mit der Achse der Drehbankspindel zusammenfällt, was mit Hilfe der obengenannten Spiegelbilder oder eines Fühlhebels sich nachweisen läßt.

Will man statt der Spiegelbilder den Fühlhebel anwenden, so kann man sich eines solchen in verschiedener Gestalt bedienen. Sämmtliche Formen müssen so eingerichtet sein, daß der (vielleicht 50 oder noch mehr Mal) kleinere Hebelarm mittelst einer Feder leicht gegen die Fläche nahe am Rande der Linse gedrückt werden kann, und so im Stande ist, die geringste Unregelmäßigkeit während der Umdrehung der betreffenden Fläche auf den längeren Hebelarm zu übertragen und mit Hilfe desselben sichtbar zu machen. Eine Hauptbedingung dabei ist, daß der Drehpunkt (Hypomochlium) des Hebels bei der Untersuchung jeder Fläche unverrückbar feststeht. Zeigt der Hebel in Bezug auf beide Linsenflächen nicht die mindesten Schwankungen an, so läuft die Linse centrisch, und es braucht dann nur ihr Rand durch Schleifen egalisirt zu werden. Vibrirt aber der längere Hebelarm während der Umdrehung der Linse, so muß dieselbe erst richtig gerückt werden, was oft viel Mühe und Zeitaufwand erfordert. Der Griff A (Fig. 92) hat einen um etwas Weniges geringeren Durchmesser als die Linse l. Die vordere Fläche des breiteren Ansatzes dreht man etwas hohl, damit sie sich beim Aufkitten besser an die flachere convexe Krümmung der Crown- respective Flintglaslinse anlegen läßt. Ist Alles soweit vorgerichtet, so überzieht man die schwächere Convexfläche einer der Objectivlinsen, die eben centrirt werden soll, recht glatt (durch Aufleimen) mit Papier, welches kreisförmig geschnitten, den Durchmesser der vorderen Fläche des Griffes A und im Centrum eine kreisförmige Oeffnung haben muß, und nachdem man

mit einem Tastzirkel die dünnste Stelle der Concav- oder die dickste Stelle der Convexlinse in der Mitte gefunden und mit einem Tüpfchen Farbe auf der aufzukittenden Fläche angemerkt, ebenso auch die Mitte des Griffes A notirt hat, tropft man an mehreren symmetrisch gelegenen Stellen des letzteren — der vorher heiß gemacht werden mußte — genügende Mengen Kitt, und drückt dann darauf die ebenfalls vorher etwas angewärmte Linse mit der Papierseite genügend fest, so daß die beiden angemerkten Pünktchen auf der Glas- und auf der Ansatzfläche genau zusammenfallen. Man erreicht auf diese Weise ein möglichst genaues Zusammenfallen der optischen Achse der Linse mit der des Metallgriffes A, mit welchem sie nun möglichst centrisch und, nach dem Augenmaße richtig laufend, in die Platte G festgespannt wird. Hierauf sucht man mit Hilfe der Spiegelbilder nach obiger Methode die Linse l in ihrer Stellung möglichst zu corrigiren, und ist dieses geschehen, so geht man zuletzt noch zur Correctur der centrischen Lage mittelst der Fühlhebel über. Man kann sich zur Abkürzung des Verfahrens mit Vortheil gleichzeitig zweier Fühlhebel a und b mit den Drehpunkten d und e (wie Fig. 92 schematisch andeutet) bedienen, des einen für die Vorder-, des andern für die Hinterfläche der Linse. Die Enden der kurzen rechtwinkelig umgebogenen Hebelarme derselben müssen rundlich geformt und gut polirt sein, damit sie mit möglichst geringer Reibung über die Flächen gleiten. Das Justiren mit Hilfe derselben wird fortgesetzt, bis die langen Hebelarme absolut ruhig stehen bleiben.

Die Fühlhebelvorrichtung wird jeder geschickte Optiker sich selbst nach seiner Idee anfertigen können, wenn er nur dabei einige wenige Gesichtspunkte fest im Auge behält. Vor allen Dingen müssen die beiden Hebel, wenn sie gleichzeitig Anwendung finden sollen, zu einem Ganzen so verbunden sein,

daß ihre Drehpunkte um bestimmte Beträge von einander entfernt oder einander genähert werden können, weil die Dicken der zwischen die Enden der kurzen Hebelarme gestellten Linsen ziemlich verschieden zu sein pflegen. Ferner ist es nöthig, daß durch schwache Federn, welche, zwischen a und b liegend, sich gegen die langen Hebelarme stemmen, die kurzen Hebelarme permanent gegen die Glasflächen gedrückt werden. Um endlich auch genau beobachten zu können, ob die Endpunkte der langen Hebelarme absolut ruhig stehen bleiben, während die Glaslinse rotirt, also um zu sehen, ob letztere centrisch läuft, muß jeder Hebelendpunkt über einer kleinen Scala sich bewegen. Fallen nun die beiden Spiegelbilder genau zusammen, oder bewegen sich die Endpunkte der langen Arme der Fühlhebel nicht mehr, während die Linse sich dreht, so fällt die optische Achse des Glases mit der Achse der Drehbankspindel ebenfalls genau zusammen, und es kommt nur noch darauf an, den Rand der Linse so abzuschleifen, daß er einen Kreis bildet, dessen Mittelpunkt in die optische Achse der Linse zu liegen kommt. Man verfährt dabei auf folgende Weise: Man spannt in den Support der Drehbank ein Stück Kupfer, welches weder mit einer Spitze, noch mit einer Kante, sondern mit einer, dem Rande der Linse entsprechend geformten hohlen schmalen Fläche gegen denselben (und zwar mehr nach unten hin) schleift, sobald sie nahe genug herangerückt ist. Das Streifen des Glasrandes muß sehr vorsichtig und nur leicht geschehen, damit die Linse in ihrer Lage nicht verschoben, und von dem Rande derselben nichts herausgebrochen wird. Während die Linse nun rotirt, giebt man kleine Portionen, mit Wasser genügend angefeuchteten Schmirgels von mittlerem Korn ab und zu zwischen den Rand des Kupferstückes und den der Linse, wodurch ganz allmälig, indem man das Kupferstück dem Rande der Linse

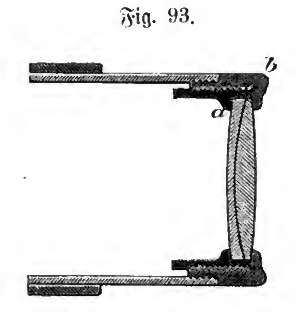
vorsichtig immer mehr und mehr nähert, die unregelmäßige Krümmung des Linsenrandes in diejenige eines vollständigen Kreises übergeht, dessen Centrum in der optischen Achse der Linse liegt. Es wird der letztere Fall eingetreten sein, sobald das Kupferstück den Rand überall gleichmäßig streift und der Fühlhebel an den ersteren angesetzt, kein Schwanken erkennen läßt. Es kann hierzu kein Doppel-, sondern nur ein einfacher Fühlhebel in einer Stellung wie etwa c in Fig. 92 angewendet werden.

Wenn nun auch jede der beiden Linsen, welche ein achromatisches Objectiv bilden, für sich vollständig centrirt ist, so braucht deshalb noch nicht das Objectiv selbst centrirt zu sein, denn dazu gehört, daß die optischen Achsen beider Linsen genau in eine einzige zusammenfallen. Sind die Durchmesser beider Linsen gleich groß, was man so viel als möglich zu erreichen suchen muß, und sind die beiden inneren Flächen mit gleichem Krümmungshalbmesser hergestellt, so daß sich die Linsen mit Kanadabalsam zusammenkitten lassen, so ist die Vereinigung beider zu einer einzigen centrirten Linse einfach; man braucht sie eben so zusammenzufügen, daß der Rand der einen Linse an keiner Stelle vor dem der anderen vorsteht; in diesem Falle paßt dann das Objectiv genau in den inneren Ring a der Fassung (Fig. 93 im Durchschnitt), über welchen zuletzt der Ring b geschraubt wird. Haben aber die beiden inneren Flächen des Objectivs nicht vollkommen gleiche Halbmesser, so daß man dieselben nicht zusammenkitten kann, so muß man verhüten, daß diese Flächen beim Zusammensetzen der Linsen sich in der Mitte berühren, es würden sonst die sogenannten Newton'schen Farbenringe entstehen. Man schiebt zu diesem Zwecke an drei, 120 Grad von einander gelegenen Punkten, am Rande des Objectivs zwischen die mittleren Flächen drei, einige Milli-

meter breite und lange Stanniolblättchen von gleicher Dicke, und befestigt diese mit Gummiwasser an eine der Flächen; dadurch erhalten die Linsen einen geringen gleichmäßigen Abstand von einander, ohne sich in der Mitte zu berühren, und können so (nachdem sie nach dem Rande zu kräftig gegeneinander gedrückt und die Stanniolblättchen dadurch gezwungen werden, sich recht dicht und glatt anzulegen) in die Fassung gebracht werden.

Um zwei zu einem Objectiv zusammengehörige Linsen

Fig. 93.



mit ihrer zweiten und dritten Fläche zusammenzukitten, erwärmt man sie ganz allmälig, jede für sich, indem man sie auf eine, die Wärme nur langsam leitende Substanz, z. B. Glas, Holz, Stein u. s. w., und mit dieser auf die Platten eines Feuerherdes (mit der zweiten und dritten Fläche nach oben) legt, welche nur durch ein schwaches Feuer selbst langsam heiß gemacht werden. Sind beide Glaslinsen so warm geworden, daß sie sich ziemlich heiß anfühlen, so reinigt man sie mit einem Dachshaarpinsel so viel als möglich von allem Staub, der inzwischen darauf gefallen sein könnte, tropft auf die Mitte der dritten (hohlen) Fläche so viel reinen (ebenfalls

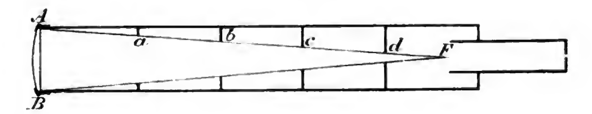
erwärmten) Kanadabalsam, als man etwa reichlich nöthig hat, und legt die Convexlinse mit der zweiten Fläche möglichst genau auf die dritte, beide Linsen fest aufeinander drückend, so daß die dazwischenliegende Harzschicht sich nach allen Seiten hin gleichmäßig ausbreitet und keine Stelle frei läßt. Durch fortgesetztes vorsichtiges Drücken der Linsen gegeneinander, in Abwechslung mit dem Verschieben derselben nach verschiedenen Richtungen übereinander weg, wird der überschüssige Kitt hervorgepreßt und das nur zum Zusammenkitten nöthige Quantum desselben zurückgehalten. Hat man beide Linsen so vereinigt, daß sie ein achromatisches Objectiv mit nur einem einzigen glatten Rande bilden, so läßt man es vollständig erkalten und reinigt zuletzt dasselbe von den anhaftenden Harzpartikelchen mittelst Spiritus. Will man umgekehrt, die zusammengekitteten Linsen eines Objectivs von einander trennen, so hat man auch nur nöthig, das Objectiv auf die oben angegebene Weise, und damit zugleich die zwischenliegende Harzschicht zu erwärmen; letztere wird dann flüssig, und die beiden Linsen lassen sich von einander trennen.

Mit der Centrirung des Objectivs geht Hand in Hand diejenige des Rohrs. Da es darauf ankommt, daß die Achse des Oculars, des Rohrs und des Objectivs in eine einzige gerade Linie fallen, so wird der denkende Optiker auch die Mittel und Wege ausfindig zu machen wissen, die bei einem gegebenen Falle einzuschlagen sind, damit diese Bedingung erfüllt werde. Es dürfte einleuchten, daß dieselben wesentlich von den Dimensionen abhängen werden, nach welchen das Fernrohr ausgeführt werden soll, und daß es nicht gleichgiltig sei, ob man die Centrirung eines kleinen Fernrohrs vorzunehmen hat, wozu eine einfache Drehbank genügt, oder die eines Rohrs, dessen Länge sich nach mehreren Metern bemißt, bei welchen Temperaturveränderungen, Bie-

gungen in Folge der eigenen Schwere u. s. w. mit Berücksichtigung finden müssen.

Es genüge hier nur darauf aufmerksam zu machen, daß bei einem großen Fernrohr, welches gut centrirt ist, die mittelst eines kleinen Fernrohrs durch das Objectiv des ersteren hindurch beobachtete Ocularöffnung ihre Lage unverändert beibehalten muß, während das ganze Fernrohr um seine Achse rotirt, und daß, wenn dies nicht der Fall ist, also die Ocularöffnung sich bewegt, man in der Lage sein müsse, durch, am Oculareinsatz in geeigneter Weise angebrachte Stellschrauben das Ocular so zu rücken, bis die beobachtete Ruhelage ein-

Fig. 94.

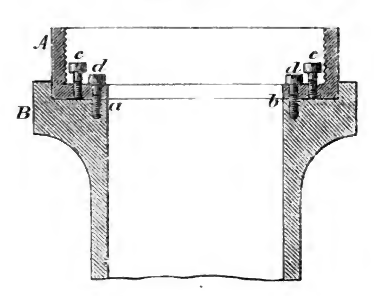


getreten ist. Man kann indessen auch das Centriren des ganzen Fernrohrs auf folgende Weise vornehmen, wozu es aber noch einer besonderen unten näher beschriebenen Vorrichtung für die Fassung des Objectivs bedarf, damit letzteres gerichtet werden kann. Wird das Rohr vom Objectiv aus nach dem Ocular zu kegelförmig enger, so hat man nur nöthig, in der Nähe des Oculars Blenden zur Abhaltung des schädlichen, unregelmäßig zerstreuten Lichtes einzusetzen; ist aber das Rohr vom Objectiv bis zum Oculareinsatz cylindrisch, also innerlich überall gleich weit, so müssen die Blenden in gewissen Abständen gleich vom Objectiv an eingesetzt werden, und dabei die, ihren Stellungen entsprechenden Oeffnungen a, b, c u. s. w. erhalten, wie Fig. 94 angiebt, wo A F und B F die Richtung der an dem Objectivrande gebrochenen Parallelstrahlen vorstellen.

Das Rohr ist sammt den Blenden innerlich mit einem matt-schwarzen Ueberzuge zu versehen.

Die oben angedeutete Vorrichtung zur Centrirung des Objectivs und Rohrs ist an dem Objectivrande des Rohrs angebracht und besteht aus dem erweiterten, etwa 2 Cm. tief cylindrisch ausgedrehten metallenen Rande B (Fig. 95) und aus dem metallenen Einsatzstück A, welches ungefähr die Form im Querschnitt hat, wie die Figur andeutet. Innerhalb ist dasselbe mit einem Gewinde zum Einschrauben der Fassung

Fig. 95.



(a b, Fig. 93) des Objectivs versehen. Das Stück A hat eine Oeffnung a b, welche gleich derjenigen des Rohrs im Innern ist und kann durch die Druckschrauben c und durch die Zug-schrauben d, welche um 120 Grad in der Peripherie abstehen und paarweise (eine Druck- und eine Zugschraube) angeordnet sind, sammt dem Objective so gerichtet, respective verstellt werden, daß die Achse des letzteren mit der des ganzen Fernrohrs zusammenfällt. Ob das letztere der Fall, d. h. ob das ganze Fernrohr centrirt ist, wird auf folgende Weise geprüft. Man verfertigt sich ein Fernrohr von ungefähr 20 Cm. Länge und fünfmaliger Vergrößerung mit einem

Doppel-Ocular zweiter Classe (Ramsden'sches Ocular) ein für alle Mal zu solchen Untersuchungen. In dem Brennpunkte des Objectivs bringt man ein sogenanntes Fadenkreuz an, d. h. zwei senkrecht aufeinander stehende Spinnefäden, die sich in der Achse des Rohrs schneiden. Letzteres ist um ein auf einem kleinen Stative befindliches Charnier drehbar, so daß es senkrecht und horizontal nach allen Richtungen gestellt werden kann. Damit man auch in senkrechter Richtung von oben nach unten hindurch sehen könne, ohne von dem Fuße des Stativs verhindert zu werden, ist dieser Fuß, wie beim Mikroskop beschrieben, hufeisenförmig gestaltet und in dem Scheitel desselben die das Fernrohr tragende Säule befestigt. Unter diesem Fuße und unter jedem Ende eines Schenkels ist je ein rundes, gut polirtes stählernes Knöpfchen angebracht, so daß also mit diesen drei Knöpfchen das Ganze feststeht. Wenn nun das große Fernrohr untersucht werden soll, ob es centrirt ist, so legt man es, überall gehörig unterstützt, so, daß sein Objectiv mehr nach oben gewendet ist, setzt dann das kleine Fernrohr mit seinem Fuße auf die äußere Fläche des Objectivs, wobei die Schenkelenden des Hufeisenfußes an den Rand der Fassung zu liegen kommen, und richtet nun das kleine Fernrohr nach der durch das große Objectiv hindurchleuchtenden Ocularöffnung des zu prüfenden Fernrohrs, bis die Mitte des Fadenkreuzes mit der Mitte der Ocularöffnung zusammenfällt. Hierauf setzt man dieses kleine Fernrohr, ohne seine soeben bestimmte Lage zum Stativ zu ändern, auf ganz gleiche Weise auf einer anderen Stelle des Objectivs auf und schaut wieder nach der Ocularöffnung, und so ebenfalls an einer dritten Stelle. Treffen auch in diesen beiden anderen Stellungen des kleinen Fernrohrs die Mitten der Ocularöffnung mit derjenigen des Fadenkreuzes zusammen, so kann das zu prüfende Fern-

rohr als centrirt betrachtet werden. Findet aber dieses Zusammentreffen an anderen Stellen des Objectivs nicht statt, so muß das Objectiv erst mittelst der Schrauben c und d (Fig. 95) so lange in seiner Lage corrigirt werden, bis die obige Bedingung erfüllt ist.

Das Einsetzen eines Fadenkreuzes in dem Brennpunkte des Objectivs geschieht auf folgende Weise: Auf einem Metallring, der durch vier um 90 Grad von einander abstehende und von außen her durch die Ocularröhre führende Schrauben genau in die Mitte des Rohrs und in den Brennpunkt des Objectivs gebracht und festgehalten werden kann, werden zwei senkrecht aufeinander stehende Linien angerissen, d. h. mittelst eines Grabstichels vier feine Striche angegeben, welche die Richtungen zweier Geraden andeuten, die sich in der Mitte des Ringes genau senkrecht schneiden. Der Ring muß zu diesem Zwecke natürlich aus der Ocularröhre entfernt und zurechtgelegt worden sein. Hierauf nimmt man mit den Spitzen eines wenig gespreizten Zirkels einen Spinnenwebenfaden, haucht ihn an und legt ihn über den Ring, straff gespannt, in zwei gegenüberliegende eingegrabene Striche und befestigt ihn daselbst mit etwas Schellacklösung; ebenso verfährt man mit einem zweiten Faden, der senkrecht über jenen über die anderen Striche des Ringes gespannt und befestigt wird. Man achte übrigens darauf, daß die Fäden möglichst staubfrei sind, was ja mittelst der Loupe, mit welcher man in diesem Falle arbeiten muß, leicht zu erkennen ist.

Tafel zur Berechnung der Krümmungshalbmesser aplanatischer Objective.

ω	Zur Berechnung des Halbmessers r'			Zur Berechnung des Halbmessers r''''		
	R	Cn	Cn'	R	Cn	Cn'
0,550	0,67185	0,740	— 0,0110	1,45353	10,080	— 5,033
0,551	0,67182	0,739	— 0,0100	1,45303	10,099	— 5,045
0,552	0,67179	0,737	— 0,0090	1,45253	10,118	— 5,058
0,553	0,67176	0,736	— 0,0080	1,45203	10,137	— 5,070
0,554	0,67173	0,734	— 0,0071	1,45153	10,157	— 5,083
0,555	0,67170	0,733	— 0,0062	1,45103	10,177	— 5,095
0,556	0,67167	0,731	— 0,0052	1,45053	10,196	— 5,108
0,557	0,67164	0,730	— 0,0042	1,45003	10,215	— 5,121
0,558	0,67161	0,728	— 0,0032	1,44953	10,234	— 5,133
0,559	0,67158	0,727	— 0,0023	1,44905	10,254	— 5,145
0,560	0,67155	0,725	— 0,0014	1,44857	10,274	— 5,158
0,561	0,67152	0,724	— 0,0004	1,44809	10,293	— 5,170
0,562	0,67149	0,722	+ 0,0006	1,44701	10,312	— 5,183
0,563	0,67146	0,721	+ 0,0016	1,44713	10,331	— 5,195
0,564	0,67143	0,719	+ 0,0025	1,44665	10,351	— 5,208
0,565	0,67140	0,718	+ 0,0034	1,44617	10,371	— 5,220
0,566	0,67137	0,716	+ 0,0044	1,44569	10,390	— 5,233
0,567	0,67135	0,715	+ 0,0054	1,44521	10,409	— 5,245
0,568	0,67133	0,713	+ 0,0064	1,44473	10,428	— 5,258
0,569	0,67131	0,712	+ 0,0073	1,44425	10,448	— 5,270
0,570	0,67129	0,710	+ 0,0082	1,44377	10,468	— 5,283
0,571	0,67127	0,709	+ 0,0092	1,44329	10,487	— 5,295
0,572	0,67125	0,707	+ 0,0102	1,44281	10,506	— 5,308
0,573	0,67123	0,706	+ 0,0112	1,44233	10,525	— 5,320
0,574	0,67121	0,704	+ 0,0121	1,44185	10,544	— 5,333
0,575	0,67119	0,703	+ 0,0130	1,44137	10,564	— 5,345
0,576	0,67117	0,701	+ 0,0140	1,44089	10,584	— 5,358
0,577	0,67115	0,700	+ 0,0150	1,44041	10,603	— 5,370
0,578	0,67113	0,698	+ 0,0160	1,43993	10,622	— 5,383
0,579	0,67111	0,697	+ 0,0169	1,43945	10,641	— 5,395
0,580	0,67109	0,696	+ 0,0178	1,43897	10,661	— 5,408

ω	Zur Berechnung des Halbmessers r′			Zur Berechnung des Halbmessers r″″		
	R	C n	C n′	R	C n	C n′
0,581	0,67107	0,695	+ 0,0188	1,43849	10,681	— 5,420
0,582	0,67105	0,694	+ 0,0198	1,43801	10,700	— 5,433
0,583	0,67103	0,693	+ 0,0208	1,43753	10,719	— 5,445
0,584	0,67101	0,692	+ 0,0217	1,43705	10,738	— 5,458
0,585	0,67099	0,691	+ 0,0226	1,43657	10,758	— 5,470
0,586	0,67097	0,690	+ 0,0236	1,43609	10,778	— 5,483
0,587	0,67095	0,689	+ 0,0246	1,43561	10,797	— 5,495
0,588	0,67093	0,688	+ 0,0256	1,43513	10,816	— 5,508
0,589	0,67091	0,687	+ 0,0263	1,43465	10,835	— 5,520
0,590	0,67089	0,686	+ 0,0274	1,43417	10,854	— 5,533
0,591	0,67087	0,685	+ 0,0284	1,43369	10,874	— 5,545
0,592	0,67085	0,684	+ 0,0294	1,43321	10,894	— 5,553
0,593	0,67083	0,683	+ 0,0304	1,43273	10,913	— 5,570
0,594	0,67081	0,682	+ 0,0313	1,43225	10,932	— 5,583
0,595	0,67080	0,681	+ 0,0322	1,43177	10,951	— 5,595
0,596	0,67079	0,680	+ 0,0332	1,43129	10,971	— 5,608
0,597	0,67076	0,679	+ 0,0342	1,43081	10,990	— 5,620
0,598	0,67075	0,678	+ 0,0352	1,43033	11,009	— 5,633
0,599	0,67073	0,677	+ 0,0361	1,42985	11,029	— 5,646
0,600	0,67071	0,676	+ 0,0370	1,42937	11,049	— 5,659
0,601	0,67069	0,673	+ 0,0388	1,42792	11,060	— 5,672
0,602	0,67073	0,671	+ 0,0406	1,42647	11,071	— 5,685
0,603	0,67077	0,669	+ 0,0424	1,42502	11,083	— 5,999
0,604	0,67086	0,667	+ 0,0442	1,42357	11,094	— 5,712
0,605	0,67091	0,664	+ 0,0460	1,42212	11,005	— 5,725
0,606	0,67096	0,662	+ 0,0478	1,42067	11,117	— 5,739
0,607	0,67101	0,660	+ 0,0495	1,41922	11,128	— 5,752
0,608	0,67106	0,658	+ 0,0512	1,41777	11,139	— 5,765
0,609	0,67111	0,655	+ 0,0529	1,41632	11,151	— 5,779
0,610	0,67116	0,653	+ 0,0546	1,41487	11,162	— 5,792
0,611	0,67121	0,651	+ 0,0564	1,41342	11,173	— 5,805
0,612	0,67126	0,649	+ 0,0582	1,41197	11,185	— 5,819
0,613	0,67131	0,646	+ 0,0600	1,41052	11,196	— 5,832
0,614	0,67136	0,644	+ 0,0618	1,40907	11,207	— 5,845
0,615	0,67141	0,642	+ 0,0636	1,40762	11,219	— 5,859
0,616	0,67146	0,640	+ 0,0654	1,40617	11,230	— 5,872
0,617	0,67151	0,637	+ 0,0671	1,40472	11,241	— 5,885
0,618	0,67156	0,635	+ 0,0688	1,40327	11,253	— 5,899
0,619	0,67161	0,633	+ 0,0705	1,40182	11,264	— 5,912
0,620	0,67166	0,631	+ 0,0722	1,40037	11,275	— 5,925

ω	Zur Berechnung des Halbmessers r'			Zur Berechnung des Halbmessers r''''		
	R	C n	C n'	R	C n	C n'
0,621	0,67171	0,628	+ 0,0740	1,39892	11,287	— 5,939
0,622	0,67176	0,626	+ 0,0758	1,39747	11,298	— 5,952
0,623	0,67181	0,624	+ 0,0776	1,39602	11,309	— 5,965
0,624	0,67186	0,622	+ 0,0794	1,39475	11,321	— 5,979
0,625	0,67191	0,619	+ 0,0812	1,39312	11,332	— 5,992
0,626	0,67196	0,617	+ 0,0830	1,39167	11,343	— 6,005
0,627	0,67201	0,615	+ 0,0847	1,39022	11,355	— 6,019
0,628	0,67206	0,613	+ 0,0864	1,38877	11,366	— 6,032
0,629	0,67211	0,610	+ 0,0881	1,38733	11,377	— 6,045
0,630	0,67216	0,608	+ 0,0898	1,38589	11,389	— 6,059
0,631	0,67221	0,606	+ 0,0916	1,38445	11,410	— 6,072
0,632	0,67226	0,604	+ 0,0934	1,38301	11,411	— 6,085
0,633	0,67231	0,601	+ 0,0952	1,38157	11,423	— 6,099
0,634	0,67236	0,599	+ 0,0970	1,38013	11,434	— 6,112
0,635	0,67241	0,597	+ 0,0988	1,37869	11,445	— 6,125
0,636	0,67246	0,595	+ 0,1006	1,37725	11,457	— 6,139
0,637	0,67251	0,592	+ 0,1023	1,37581	11,468	— 6,152
0,638	0,67256	0,589	+ 0,1040	1,37437	11,479	— 6,165
0,639	0,67261	0,587	+ 0,1057	1,37393	11,491	— 6,179
0,640	0,67266	0,585	+ 0,1074	1,37249	11,502	— 6,192
0,641	0,67271	0,583	+ 0,1092	1,37105	11,513	— 6,205
0,642	0,67276	0,580	+ 0,1110	1,36961	11,525	— 6,219
0,643	0,67281	0,578	+ 0,1128	1,36817	11,536	— 6,232
0,644	0,67286	0,576	+ 0,1146	1,36673	11,547	— 6,245
0,645	0,67291	0,574	+ 0,1164	1,36429	11,558	— 6,258
0,646	0,67296	0,571	+ 0,1182	1,36285	11,569	— 6,271
0,647	0,67301	0,569	+ 0,1199	1,36141	11,580	— 6,284
0,648	0,67306	0,567	+ 0,1216	1,35997	11,591	— 6,297
0,649	0,67311	0,565	+ 0,1223	1,35853	11,602	— 6,310
0,650	0,67316	0,563	+ 0,125	1,35709	11,614	— 6,323
0,651	0,67336	0,558	+ 0,129	1,35457	11,614	— 6,347
0,652	0,67356	0,553	+ 0,132	1,35205	11,614	— 6,371
0,653	0,67376	0,548	+ 0,136	1,34953	11,614	— 6,395
0,654	0,67396	0,544	+ 0,139	1,34701	11,614	— 6,419
0,655	0,67416	0,539	+ 0,143	1,34449	11,614	— 6,444
0,656	0,67436	0,555	+ 0,146	1,34197	11,614	— 6,469
0,657	0,67456	0,530	+ 0,150	1,33945	11,614	— 6,494
0,658	0,67476	0,526	+ 0,153	1,33693	11,614	— 6,519
0,659	0,67496	0,521	+ 0,157	1,33441	11,614	— 6,544
0,660	0,67516	0,517	+ 0,160	1,33389	11,614	— 6,569

m	Zur Berechnung des Halbmessers r'			Zur Berechnung des Halbmessers r'''		
	R	C n	C n'	R	C n	C n'
0,661	0,67536	0,512	—0,164	1,32937	11,614	—6,594
0,662	0,67556	0,508	—0,168	1,32685	11,614	—6,619
0,663	0,67576	0,503	—0,171	1,32433	11,614	—6,644
0,664	0,67595	0,499	—0,174	1,32185	11,614	—6,669
0,665	0,67614	0,495	—0,178	1,31912	11,614	—6,694
0,666	0,67633	0,490	—0,181	1,31683	11,614	—6,719
0,667	0,67652	0,486	—0,185	1,31433	11,614	—6,744
0,668	0,67671	0,481	—0,189	1,31183	11,614	—6,769
0,669	0,67690	0,477	—0,192	1,30933	11,614	—6,794
0,670	0,67709	0,472	—0,196	1,30683	11,614	—6,819
0,671	0,67728	0,468	—0,199	1,30433	11,614	—6,844
0,672	0,67747	0,463	—0,203	1,30183	11,614	—6,869
0,673	0,67766	0,459	—0,206	1,29933	11,614	—6,894
0,674	0,67785	0,454	—0,209	1,29683	11,614	—6,919
0,675	0,67804	0,450	—0,213	1,29431	11,614	—6,944
0,676	0,67823	0,445	—0,217	1,29179	11,614	—6,969
0,677	0,67842	0,441	—0,221	1,28928	11,614	—6,994
0,678	0,67861	0,436	—0,225	1,28677	11,614	—7,019
0,679	0,67880	0,432	—0,229	1,28426	11,614	—7,044
0,680	0,67899	0,427	—0,233	1,28175	11,614	—7,069
0,681	0,67918	0,423	—0,237	1,27924	11,614	—7,094
0,682	0,67937	0,418	—0,241	1,27673	11,614	—7,119
0,683	0,67956	0,414	—0,245	1,27423	11,614	—7,144
0,684	0,67975	0,409	—0,249	1,27171	11,614	—7,169
0,685	0,67994	0,405	—0,253	1,26920	11,614	—7,194
0,686	0,68013	0,400	—0,257	1,26669	11,614	—7,219
0,687	0,68032	0,396	—0,261	1,26418	11,614	—7,244
0,688	0,68051	0,391	—0,265	1,26167	11,614	—7,269
0,689	0,68070	0,387	—0,270	1,25916	11,614	—7,294
0,690	0,68089	0,382	—0,274	1,25665	11,614	—7,319
0,691	0,68108	0,378	—0,278	1,25414	11,614	—7,344
0,692	0,68127	0,373	—0,282	1,25163	11,614	—7,369
0,693	0,68146	0,369	—0,286	1,24912	11,614	—7,394
0,694	0,68165	0,364	—0,290	1,24661	11,614	—7,419
0,695	0,68184	0,360	—0,294	1,24410	11,614	—7,444
0,696	0,68203	0,355	—0,298	1,24159	11,614	—7,469
0,697	0,68222	0,351	—0,302	1,23908	11,614	—7,494
0,698	0,68241	0,346	—0,306	1,23657	11,614	—7,519
0,699	0,68260	0,341	—0,309	1,23406	11,614	—7,544
0,700	0,68279	0,335	—0,312	1,23154	11,614	—7,570

Anhang.

Die Burow'sche Scala.

[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]		[illegible]
1	,333		3000	12[illegible]		114,72
2	,666	[illegible]	1500	60		57,36
3	1,000	1	1000	40		38,24
4	1,333	$1\frac{1}{3}$	750	30		28,68
5	1,666	$1\frac{2}{3}$	600	24		22,94
6	2,000	2	500	20		19,12
7	2,333	$2\frac{1}{3}$	428	17	17,14	16,38
8	2,666	$2\frac{2}{3}$	375	15		14,34
9	3,000	3	333	13		12,75
10	3,333	$3\frac{1}{3}$	300	12	13,33	11,47
11	3,666	$3\frac{2}{3}$	273	11	10,91	10,43
12	4,000	4	250	10		9,56
13	4,333	$4\frac{1}{3}$	231	9	9,23	8,82
14	4,666	$4\frac{2}{3}$	214	$8\frac{1}{2}$	8,57	8,19
15	5,000	5	200	8		7,65
16	5,333	$5\frac{1}{3}$	187	$7\frac{1}{2}$		7,17
17	5,666	$5\frac{2}{3}$	175	7	7,66	6,75
18	6,000	6	166	$6\frac{2}{3}$		6,37
19	6,333	$6\frac{1}{3}$	158	$6\frac{1}{3}$	6,32	6,04
20	6,666	$6\frac{2}{3}$	150	6		5,73
21	7,000	7	143	6	5,71	5,47
22	7,333	$7\frac{1}{3}$	136	$5\frac{1}{2}$	5,46	5,22
23	7,666	$7\frac{2}{3}$	130	$5\frac{1}{4}$	5,22	4,99
24	8,000	8	125	5		4,78
26	8,666	$8\frac{2}{3}$	115	$4\frac{2}{3}$	4,62	4,42
28	9,333	$9\frac{1}{3}$	107	$4\frac{1}{3}$	4,28	4,09
30	10,000	10	100	4		3,82
32	10,666	$10\frac{2}{3}$	94	$3\frac{3}{4}$		3,58
34	11,333	$11\frac{1}{3}$	88	$3\frac{1}{2}$	3,53	3,37
36	12,000	12	83	$3\frac{1}{3}$		3,18
38	12,666	$12\frac{2}{3}$	79	$3\frac{1}{6}$	3,16	3,01
40	13,333	$13\frac{1}{3}$	75	3		2,87
44	14,666	$14\frac{2}{3}$	68	$2\frac{3}{4}$	2,73	2,61
48	16,000	16	62	$2\frac{1}{2}$	2,22	2,39
54	18,000	18	55	$2\frac{1}{4}$		2,12
60	20,000	20	50	2		1,91

Das Wichtigste

aus dem

Productions- und Preisverzeichniß

des

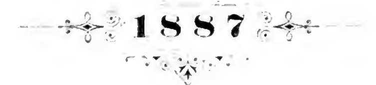
Glastechnischen Laboratoriums

von

Schott & Gen.

in

Jena.



»Zur Kennzeichnung der optischen Eigenschaften der Glasarten sind hier fünf helle Linien des Spectrums benutzt, welche sich mittelst künstlicher Lichtquellen jederzeit leicht herstellen lassen, nämlich die rothe Kalilinie ($K\alpha$), die Natronlinie ($N\alpha$) und die drei hellen Linien des Wasserstoffspectrums $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$. Da drei von diesen mit den Fraunhofer'schen Linien C, D, F des Sonnenspectrums identisch sind, und die beiden anderen, $K\alpha$ und $H\gamma$, den Fraunhofer'schen Linien A und G sehr nahe liegen, so sind im Folgenden diese Linien mit den Buchstaben A^1, C, D, F, G^1 bezeichnet.« *)

»Die Resultate der nach der Abbe'schen Methode ausgeführten spectrometrischen Messungen sind in der Art zusammengestellt, daß der absolute Werth des Brechungsindex nur für die D-Linie angegeben ist, zur Kennzeichnung der

*) Die Wellenlängen der benutzten Linien sind in Mikro-Millimetern:

A^1 ($K\alpha$) Mitte der Doppellinie	C ($H\alpha$)	D ($N\alpha$) Mitte der Doppellinie	F ($H\beta$)	G^1 ($H\gamma$)
0,7677	0,6563	0,5893	0,4862	0,4341

»Mit Hilfe dieser Daten kann die Dispersion für jedes andere Intervall im Spectrum, dessen Grenzen Linien von bekannten Wellenlängen sind, durch Interpolation — am bequemsten graphische Interpolation mit den Reciproken der Wellenlänge als Abscissen — so genau ermittelt werden, als es für praktische Zwecke ein Interesse hat.«

Dispersion aber die Differenzen der Brechungsindices für vier Intervalle C F, A^1 D, D F, F G^1 dienen. Die Dispersionswerthe sind, entsprechend der Genauigkeit der Messungen, auf fünf Stellen angegeben, während der Brechungsindex für D nur auf vier Decimalen bestimmt ist.«

»Da das Intervall C F den mittleren lichtstarken Theil des Spectrums umfaßt, so wird durch dasselbe die mittlere Dispersion der verschiedenen Glasarten ausreichend charakterisirt und durch das Verhältniß dieser zum Werthe $n_D - 1$ — da die Linie D der hellsten Stelle des sichtbaren Spectrums sehr nahe liegt — ein angemessener Zahlenausdruck für die sogenannte relative Dispersion $\left(\frac{\triangle n}{n - 1}\right)$ gewonnen. Diese letztere ist in der Tabelle, um übersichtliche Zahlen zu erhalten, mit ihrem reciproken Werthe — durch den Buchstaben ν bezeichnet — in der Spalte neben der mittleren Dispersion angeführt. Die ganze Reihe der Glasarten ist zugleich nach der Größe dieser Zahl ν — vom größten Werthe zum kleinsten, also von der kleinsten relativen Dispersion zur größten fortschreitend — geordnet, weil die Bedingungen für die Achromatisirung einer Glasart vermittelst einer anderen wesentlich durch diese Werthe und ihre Unterschiede bestimmt sind, der optische Charakter einer Glasart hinsichtlich der Achromatisirung also in jener Zahl ν am unmittelbarsten zum Ausdruck kommt.«

»Die Dispersionswerthe für die drei Intervalle A^1 D, D F, F G^1 endlich gewähren Kennzeichen für den Gang der Dispersion, d. h. für die Verhältnisse der partiellen Dispersion in den verschiedenen Regionen des Spectrums und bieten die erforderlichen Anhaltspunkte zur Beurtheilung

des Grades der Achromasie, der durch Combination von irgend zwei Glasarten erreicht werden kann. Um eine bequeme Uebersicht zu ermöglichen, sind unterhalb der Dispersionswerthe in derselben Spalte mit kleineren Ziffern die Zahlen angeführt, welche sich ergeben, wenn die betreffende partielle Dispersion durch den Betrag der mittleren Dispersion für das Intervall C F dividirt wird.« *)

»Eine Vergleichung dieser Quotienten bei zwei verschiedenen, als Crown- und Flint- zu verwendenden Glasarten läßt sofort erkennen, von welcher Art und Größe das secundäre Spectrum ist, welches die Achromatisirung dieser beiden Glasarten durch einander übrig lassen muß. Ein größerer Werth des ersten (auf das Intervall A^1 D bezüglichen) Quotienten bezeichnet eine relative Verlängerung des Roth, ein größerer Werth des dritten (auf das Intervall FG^1 bezüglichen) eine relative Verlängerung des Blau in dem Spectrum des betreffenden Glases. Die Unterschiede der entsprechenden Quotienten bei zwei Glasarten geben also das Maß der größeren oder geringeren Disproportionalität ihrer Dispersionen; die Gleichheit entsprechender Quotienten aber beweist die Möglichkeit einer Achromatisirung ohne secundäre Farbenabweichung, wofern die Werthe des ν bei den betreffenden Glasarten genügend verschieden sind, um ihre Verbindung als Crown- und Flintglas zu gestatten. Wir weisen darauf hin, daß hier zum ersten Male den Optikern Glasarten dargeboten werden, welche bei annähernd gleicher relativer Dispersion (oder der Zahl ν) überhaupt beträchtliche Unterschiede in den Verhältnissen der partiellen Dispersion zeigen [vergl. z. B. die Nummern **O** 138 (9)

*) Wir haben uns gestattet, der Kürze halber nur diese Quotienten in der Tabelle aufzuführen, die Dispersionswerthe aber, welche sich ja ohneweiters daraus berechnen lassen, wegzulassen.

und **S** 52 (10), **O** 152 (23) und **S** 8 (24), **S** 7 (28) und **O** 154 (20) des Verzeichnisses] und solche, welche annähernd proportionale Dispersion bei beträchtlicher Verschiedenheit der mittleren relativen Dispersion gewähren, die also achromatische Combinationen ohne secundäres Spectrum (d. h. genaue Vereinigung von drei verschiedenen Farben des Spectrums) ermöglichen, wie z. B. die Paare: **O** 225 (1) und **S** 35 (21), **S** 40 (2) und **S** 35 (21), **S** 30 (3) und **S** 8 (24), **O** 60 (8) und **O** 164 (25).«

»Anmerkung: Eine genaue Betrachtung der in der Tabelle angeführten Zahlen läßt übrigens erkennen, daß auch die Benutzung einer viel größeren Zahl von chemischen Elementen, als früher für optisches Glas in Anwendung gekommen sind, keine im strengen Sinne proportionale Dispersion bei Glasflüssen von merklich verschiedenem Werthe des ν herbeigeführt hat. Bei den oben angegebenen Combinationen, welche drei Farben zu vereinigen gestatten, bleibt eine kleinere Abweichung des Blau übrig, wenn das Roth mit zwei mittleren Farben zusammentrifft, oder eine Abweichung des Roth, wenn das Blau mit den mittleren Farben übereinstimmt, weil der erste und der dritte Quotient nie gleichzeitig identische Werthe annehmen. Das aus dieser Abweichung entspringende tertiäre Spectrum ist jedoch praktisch verschwindend gegenüber dem großen secundären Spectrum, welche das jetzt gebräuchliche Crown und Flint der Silicatreihe stets übrig läßt.«

»Folgendes Verzeichniß enthält eine Auswahl Glasarten mit der Fabrikationsnummer und den optischen Eigenschaften aufgeführt, die wir in Zukunft herzustellen beabsichtigen. Sie sind als Typen dessen anzusehen, was wir nach dem jetzigen Stande unserer Fabrikation den Optikern bieten können.«

Crownglas.

Laufende Nr.	Fabrikations-Nummer	Benennung	Brechungsindex für D (n)	Mittlere Dispersion C bis F (△ n)	$\nu = \frac{n-1}{\triangle n}$	Partielle Dispersion*)			Bemerkungen	Preis pr. Kgr. in Mark
						A'—D	D—F	F—G		
1	O. 225	Leichtes Phosphat . .	1,5159	0,00737	70,0	0,658	0,698	0,552	Farblos	70
2	S. 40	Mittleres Phosphat .	1,5590	0,00835	66,9	0,654	0,702	0,557	»	60
3	S. 40	Schweres Barium-Phosphat	1,5760	0,00884	65,2	0,644	0,703	0,565	Relativ nicht große Härte	75
4	S. 15	Schwerstes Barium-Phosphat	1,5906	0,00922	64,1	0,641	0,703	0,565	Geringe Härte; zu schützen	75
5	O. 144	Boro-Silicat	1,5100	0,00797	64,0	0,651	0,701	0,559	Hohe mechanische Härte; farblos	15
6	O. 57	Leichtes Silicat . . .	1,5086	0,00823	61,8	0,643	0,702	0,564	—	10
7	O. 40	Silicat	1,5166	0,00849	60,9	0,643	0,702	0,564	—	11
8	O. 60	Kali-Silicat	1,5179	0,00860	60,2	0,643	0,703	0,566	= d. Hard-Crown v. Chance Broth.	11
9	O. 138	Silicat mit höherem n	1,5258	0,00872	60,2	0,642	0,704	0,566	—	12
10	S. 52	Leichtes Borat	1,5047	0,00840	60,0	0,667	0,700	0,555	Zu schützen	60
11	O. 20	Silicat mit niedrigem n	1,5019	0,00842	59,6	0,645	0,703	0,567	—	12
12	O. 227	Barium-Silicat . . .	1,5399	0,00909	59,4	0,640	0,703	0,566	Sehr farblos	18
13	O. 203	Gewöhnliches Silicat .	1,5175	0,00877	59,0	0,642	0,702	0,568	—	8
14	O. 13	Kali-Silicat	1,5228	0,00901	58,0	0,635	0,707	0,572	Günstigere Dispersion als Silicat	25
15	O. 15	Zink-Silicat	1,5308	0,00915	58,0	0,642	0,704	0,568	—	20
16	O. 211	Schweres Barium-Silicat	1,5726	0,00995	57,5	0,633	0,706	0,571	Farblos	25
17	O. 153	Silicat	1,5160	0,00904	57,2	0,638	0,705	0,571	—	8
18	O. 114	Weiches Silicat . . .	1,5151	0,00910	56,6	0,634	0,705	0,572	Gleich dem Soft-Crown von Ch. Br.	10
19	O. 197	Boro-Silicat	1,5250	0,00929	56,5	0,645	0,704	0,572	—	20
20	O. 202	Schwerstes Barium-Silicat	1,6040	0,01092	55,3	0,632	0,706	0,572	Weich, nicht frei von Bläschen	35

*) Die wirklichen Dispersionswerthe werden gefunden, wenn die hier stehenden Zahlen (z. B. 0,658) mit dem entsprechenden mittleren Dispersionswerth (0,00737) multiplicirt werden, also z. B. 0,658 . 0,00737 = 0,00484946 = 0,00485.

Flintglas.

Laufende Nr.	Fabrikations-Nummer	Benennung	Brechungsindex für D (n)	Mittlere Dispersion C bis F ($\triangle n$)	$\nu = \frac{n-1}{\triangle n}$	Partielle Dispersion A′—D	D—F	F—G	Bemerkungen	Preis pr. Kgr. Mark
21	S. 35	Borat	1,5503	0,00996	55,2	0,656	0,702	0,563	Zu schützen	60
22	O. 252	Borat	1,5521	0,01026	53,8	0,650	0,703	0,567	» »	60
23	O. 152	Silicat	1,5368	0,01049	51,2	0,628	0,708	0,582	—	10
24	S. 8	Borat	1,5736	0,01129	50,8	0,645	0,704	0,571	Zu schützen	60
25	O. 164	Boro-Silicat . . .	1,5503	0,01114	49,4	0,637	0,706	0,578	—	45
26	O. 214	Silicat	1,5366	0,01102	48,7	0,626	0,709	0,584	—	10
27	O. 161	Boro-Silicat . . .	1,5676	0,01216	46,7	0,627	0,707	0,583	—	45
28	S. 7	Borat	1,6086	0,01375	44,3	0,628	0,708	0,596	Zu schützen	60
29	O. 154	Leichtes Silicat . .	1,5710	0,01327	43,0	0,617	0,710	0,595	—	10
30	O. 230	Silicat mit hohem n	1,6014	0,01415	42,5	0,613	0,712	0,597	—	15
31	O. 184	Leichtes Silicat . .	1,5900	0,01438	41,1	0,613	0,712	0,589	—	10
32	S. 17	Schweres Borat . .	1,6467	0,01591	40,6	0,622	0,709	0,594	Zu schützen	60
33	S. 10	Schweres Borat . .	1,6797	0,01787	38,0	0,614	0,711	0,607	» »	60
34	O. 118	Gewöhnliches Silicat	1,6129	0,01660	36,9	0,606	0,713	0,608	—	8
35	O. 167	» »	1,6169	0,01691	36,5	0,606	0,713	0,609	—	8
36	O. 103	» »	1,6202	0,01709	36,2	0,605	0,714	0,609	Gleich dem Dense Flint von Ch. Br.	8
37	O. 93	» »	1,6245	0,01743	35,8	0,604	0,715	0,609	—	8
38	O. 102	Schweres Silicat . .	1,6489	0,01919	33,8	0,600	0,714	0,615	Optisch = d. extra dense Flint v. Ch. Br.	15
39	O. 192	» »	1,6734	0,02104	32,0	0,597	0,717	0,619	—	15
40	O. 41	» »	1,7174	0,02434	29,5	0,591	0,718	0,625	= d. double extra dense Flint v. Ch. Br.	20
41	O. 113	» »	1,7371	0,02600	28,4	0,587	0,719	0,627	—	25
42	O. 165	» »	1,7541	0,02743	27,5	0,585	0,720	0,630	—	30
43	O. 198	Sehr schweres Silicat	1,7782	0,02941	26,5	0,584	0,721	0,635	—	45
44	S. 57	Schwerstes Silicat .	1,9626	0,04882	19,7	0,567	0,726	0,666	—	50

»Die von uns dargestellten Glasarten von wesentlich neuer Zusammensetzung sind durch stärkeren Druck hervorgehoben.«

1. »Die vorstehenden Preise gelten bei Bezügen von wenigstens 1 Kgr.

2. Das nach Gewicht verkaufte Glas wird in rectangulären Platten von der üblichen Dicke geliefert und ist an zwei Seiten zur Durchsicht anpolirt.

3. Zu jedem aus der Hand gegebenen Glase machen wir die Angaben der optischen Constanten: Brechungsindex für die Linie D (n_D) und die Dispersion für das Intervall C bis F ($n_F - n_C$). Auf besonderen Wunsch geben wir auch die Resultate der vollständigen spectrometrischen Bestimmung nach Art der in dem vorstehenden Verzeichnisse angeführten Messungen.

4. Das specifische Gewicht ist zur optischen Charakterisirung des Glases ungeeignet. Wo unseren Abnehmern die optischen Merkmale des von ihnen gewünschten Glases nicht bekannt sind, werden wir es gern übernehmen, nach Einsendung eines kleinen Probestückes die spectrometrische Messung ausführen zu lassen, und die Lieferung von Glas darnach vornehmen.

5. Außer den oben angeführten übernehmen wir auch die Herstellung von Gläsern mit bestimmten vorgeschriebenen Werthen von Brechungsexponent und Dispersion, soweit deren Fabrikation überhaupt möglich ist. Der Preis für solche Arbeiten muß natürlich abhängig sein von der Genauigkeit der verlangten Uebereinstimmung und den Kosten der Herstellung. Solche Schmelzungen in nicht gangbaren optischen Lagen müssen unter Umständen im Ganzen entnommen werden.

6. Für einige bis jetzt noch weniger gebrauchte Glassorten würden sich die Preise unter Umständen ermäßigen, wenn ein bestimmtes Glas für beständigen Gebrauch in ganzen Schmelzungen entnommen wird.

7. Die Erfahrungen der Fabrikation sind für einige von den neuen Glasarten noch nicht genügend, damit die Preisfestsetzungen für die Zukunft bindend sein könnten; wir müssen uns deshalb vorbehalten, nach den Ergebnissen dauernder Fabrikation Aenderungen nach oben oder unten vornehmen zu können.

8. Trotz der für manche der neuen Gläser gegebenen Vorschrift, sie nur an geschützten Stellen zu verwenden, sind diese erweislich an gewöhnlicher trockener Luft durchaus haltbar; sie ertragen kurze Berührung mit Wasser ohne Schaden und sind durchaus nicht hygroskopisch. Bei solchen ist aber dauernde Berührung mit Wasser in jedem Falle zu vermeiden und also darauf zu sehen, daß polirte Glasstücke nach Anfassen mit feuchten Fingern, bevor sie längere Zeit sich überlassen bleiben, gut abgetrocknet werden, und daß etwaige Niederschläge, welche während des Gebrauches der betreffenden Instrumente entstanden sind, nicht für längere Zeit auf den Flächen verbleiben.

9. Bei der Bestellung von Glas nach dem Verzeichniß werden die gangbaren Crowngläser der Silicatreihe gewöhnlich nicht größere Abweichungen von den Typen zeigen, als etwa zwei Einheiten der dritten Decimale, die gangbaren Flintgläser bis zu drei Einheiten, die sehr schweren Flintgläser sechs bis acht Einheiten der dritten Decimale im Brechungsexponenten. Für die meisten Bedürfnisse der Optik sind diese Abweichungen zu vernachlässigen. Sollte zur Erreichung näher liegender Werthe die Ausführung besonderer

Schmelzungen nothwendig sein, so wird nach dem Grade der gewünschten Uebereinstimmung der angesetzte Preis erhöht.

10. Wo es sich um Benutzung einer *neuen* Glasart für einen bestimmten optischen Zweck handelt, bitten wir unsere Abnehmer, uns möglichst von diesem in Kenntniß zu setzen, damit wir nach unserer Erfahrung im Stande sind, zu beurtheilen, ob ein ausgewähltes Glas den gestellten Anforderungen entspricht.

11. Erfahrungsgemäß sind die durch *ungenügende Kühlung* im Glase veranlaßten Spannungen die häufige Ursache schlechter Wirkung mancher optischer Instrumente. Wir haben uns bemüht, durch Anlage guter Kühlöfen diesen Fehler möglichst zu beseitigen.«

»In Bezug auf die Anwendung der einzelnen Gläser aus obiger Reihe machen wir darauf aufmerksam, daß für die *gewöhnlichen* Zwecke der Optik (Operngläser, Handfernröhre, kleine photographische Instrumente, Fernrohr- und Mikroskopobjective, an welche keine höheren Anforderungen gestellt werden, Loupen und Oculare jeder Art) die Anwendung der Crowngläser: **O** 114, **O** 60, **O** 203, **O** 114, **O** 152 und der Flintgläser: **O** 154, **O** 167, **O** 103, **O** 93, **O** 102, **O** 41 genügend ist. Den Bedürfnissen für die jetzt gebräuchlichen Constructionen der photographischen und spectroskopischen Instrumente dürfte die Reihe der Silicatgläser ebenfalls genügen.

Die Anwendung der *Phosphate* empfiehlt sich dort, wo eine absolut und relativ geringe Dispersion erwünscht ist.

Wo, wie bei feineren astronomischen Fernröhren, die Beseitigung oder Verminderung des sogenannten secundären Spectrums eine Rolle spielt, werden Combinationen von Phosphaten und Boraten oder Borosilicaten sich als besonders vortheilhaft erweisen.

Bei Linsensystemen, wie z. B. Mikroskop-Objectiven, bei welchen zur Erreichung der höchsten Leistungsfähigkeit nicht allein möglichste Uebereinstimmung im Gange der Dispersion von Crown und Flint, sondern auch die möglichste Aufhebung der sphärischen Aberration und deren chromatischer Differenz von Bedeutung ist, muß es der Geschicklichkeit des rechnenden oder praktischen Optikers überlassen bleiben, aus der ganzen obigen Reihe das jeweilig Zweckmäßigste auszuwählen.

Die neuen Mikroskop-Objective der hiesigen optischen Werkstätte von C. Zeiß zeigen, was auf diesem Gebiete durch sachgemäße Benutzung der hier gebotenen erweiterten Hilfsmittel zu erreichen ist.«

»Bei größeren Scheiben bleibt die Preisbestimmung besonderem Uebereinkommen überlassen.

Die Dicke der Scheiben ist annähernd $^1/_{10}$ des Durchmessers.

Bis zum Durchmesser von 100 Mm. sind die Scheiben mit polirten Facetten versehen; alle größeren sind auf den Flächen polirt. Von 150 Mm. Durchmesser tragen die Scheiben einen Ansatz zum Abschneiden eines Prisma für die spectrometrische Messung.«

Crown- und Flintglasscheiben zu Fernrohr-Objectiven.

a) Gewöhnl. Silicat-Gläser von den Typen: Crown: O 144; O 60; O 203. Flint: O 118; O 167; O 103; O 93; O 174.			b) Gläser mit vermindertem secundären Spectrum: Crown: O 225; S 40; S 30; Flint: O 202; S 8; S 7.
Durchmesser in Mm.	Preis in Mark	Anzahl	Preis in Mark pro Stück
40	5.—	pro 10 Stück	1,50
45	8.—	» » »	2,50
50	12.—	» » »	4.—
55	16.—	» » »	5.—
60	4.—	pro 1 Stück	12.—
70	6.—	» » »	18.—
80	10 —	» » »	30.—
90	16.—	» » »	48.—
100	25.—	» » »	75.—
110	44.—	» » »	130.—
120	50.—	» » »	150.—
130	56.—	» » »	168.—
140	60.—	» » »	180.—
150	75.—	» » »	225.—
160	90.—	» » »	270.—
170	105.—	» » »	315.—
180	120.—	» » »	360.—
200	140.—	» » »	420.—
220	170.—	» » »	510.—
240	220.—	» » »	660.—
270	300.—	» » »	900.—
300	500.—	» » »	1500.—
350	800.—	» » »	
400	1600.—	» » »	
500	4500.—	» » »	

»Lieferung von Prismen jeder Glasart und Größe. Senken (Ramolliren) von Gläsern aller Art in Chamotteformen nach eingesandten Holzmodellen.

Schneiden von Glas mit glatten Schnittflächen durch unsere Diamant-Schneidevorrichtung. Größte Schnittbreite 10 Cm. Preis pro Qu.-Dm. Schnittfläche M. 0,40.

Lieferung von geschnittenen Crownglasplättchen in 3, 4 und 5 Mm. Dicke zum respectiven Preise von M. 13, 12 und 11 pro Kilogramm, aus untersuchten gutgekühlten Platten hergestellt. Dieses Glas zeichnet sich durch sehr geringen Abfall in der Verarbeitung aus und ist besonders zum Ausschneiden von kleinen Ocular- und Objectivlinsen geeignet.«

IX. Band. **Die Fabrikation der Lacke, Firnisse, Buchdruckerfirnisse und des Siegellackes.** Handbuch für Praktiker. Enthaltend die ausführliche Beschreibung zur Darstellung aller flüchtigen (geistigen) und fetten Firnisse, Lacke und Siccative, sowie die vollständige Anleitung zur Fabrikation des Siegellackes und Siegelwachses von den feinsten bis zu den gewöhnlichen Sorten. Leichtfaßlich geschildert von Erwin Andres, Lack- und Firniß-Fabrikant. Dritte Auflage. Mit 20 erläuternden Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

X. Band. **Die Essigfabrikation.** Eine Darstellung der Essigfabrikation nach den ältesten und neueren Verfahrungsweisen, der Schnell-Essigfabrikation, der Bereitung von Eisessig und reiner Essigsäure aus Holzessig, sowie der Fabrikation des Wein-, Trestern-, Malz-, Bieressigs und der aromatischen Essigsorten, nebst der praktischen Prüfung des Essigs. Von Dr. Josef Bersch. Dritte, erweiterte und verbesserte Aufl. Mit 17 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XI. Band. **Die Feuerwerkerei oder die Fabrikation der Feuerwerkskörper.** Eine Darstellung der gesammten Pyrotechnik, enthaltend die vorzüglichsten Vorschriften zur Anfertigung sämmtlicher Feuerwerksobjecte, als aller Arten von Leuchtfeuern, Sternen, Leuchtkugeln, Raketen, der Luft- und Wasser-Feuerwerke, sowie einen Abriß der für den Feuerwerker wichtigen Grundlehren der Chemie. Von Aug. Eschenbacher. Zweite, sehr vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 49 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XII. Band. **Die Meerschaum- und Bernsteinwaaren-Fabrikation.** Mit einem Anhange über die Erzeugung hölzerner Pfeifenköpfe. Enthaltend: Die Fabrikation der Pfeifen und Cigarrenspitzen; die Verwerthung der Meerschaum- und Bernstein-Abfälle, Erzeugung von Kunstmeerschaum (Masse oder Massa), künstlichem Elfenbein, künstlicher Schmucksteine auf chemischem Wege; die zweckmäßigsten und nöthigsten Werkzeuge, Geräthschaften, Vorrichtungen und Hilfsstoffe. Ferner die Erzeugung der Oelköpfe, geflammter, gesprengelter und Ruhlaer Waare. Endlich die Erzeugung der Holzpfeifen, hierzu dienliche Holzarten, deren Färben, Beizen, Poliren u. dgl. Von E. M. Raufer. Mit 5 Tafeln Abbildungen. 10 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

XIII. Band. **Die Fabrikation der ätherischen Oele.** Anleitung zu Darstellung derselben nach den Methoden der Pressung, Destillation, Extraction Deplacirung, Maceration und Absorption, nebst einer ausführlichen Beschreibung aller bekannten ätherischen Oele in Bezug auf ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften und technische Verwendung, sowie der besten Verfahrungsarten zur Prüfung der ätherischen Oele auf ihre Reinheit. Von Dr. chem. George William Askinson, Verfasser des Werkes: Die Parfumerie-Fabrikation. 2. verbesserte und vermehrte Aufl. Mit 36 Abbild. 14 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XIV. Band. **Die Photographie oder die Anfertigung von bildlichen Darstellungen auf künstlichem Wege.** Als Lehr- und Handbuch von praktischer Seite bearbeitet und herausgegeben von Julius Krüger. Mit 41 Abbild. 37 Bog. 8. Eleg. geh. 4 fl = 7 M. 20 Pf.

XV. Band. **Die Leim- und Gelatine-Fabrikation.** Eine auf praktische Erfahrungen begründete gemeinverständliche Darstellung dieses Industriezweiges in seinem ganzen Umfange. Von F. Dawidowsky. Zweite Aufl. Mit 27 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XVI. Band. **Die Stärke-Fabrikation und die Fabrikation des Traubenzuckers.** Eine populäre Darstellung der Fabrikation aller im Handel vorkommenden Stärkesorten, als der Kartoffel-, Weizen-, Mais-, Reis-, Arrow-root-Stärke, der Tapioca u. s. w.; der Wasch- und Toilettestärke und des künstlichen Sago, sowie der Verwerthung aller bei der Stärke-Fabrikation sich ergebenden Abfälle, namentlich des Klebers und der Fabrikation des Dextrins, Stärkegummis, Traubenzuckers, Kartoffelmehles und der Zucker-Couleur. Ein Handbuch für Stärke- und Traubenzucker-Fabrikanten, sowie für Oekonomie-Besitzer und Branntweinbrenner. Von Felix Rehwald, Stärke- und Traubenzucker-Fabrikant. Zweite, sehr vermehrte u. verbesserte Aufl. Mit 28 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XVII. Band. **Die Tinten-Fabrikation,** die Herstellung der Hektographen und Hektographirtinten und die Fabrikation der Tusche, der Tintenstifte, der Stempeldruckfarben sowie des Waschblaues. Ausführliche Darstellung der Anfertigung aller Schreib-, Comptoir- und Copirtinten, aller farbigen und sympathetischen Tinten, der chinesischen Tusche, lithographischen Stifte und Tinten, unauslöschlichen Tinten zum Zeichnen der Wäsche, der Bereitung des besten Waschblaues und der Stempeldruckfarben. Nebst einer Anleitung zum Lesbarmachen alter Schriften. Nach eigenen Erfahrungen dargestellt von Sigmund Lehner, Chemiker und Fabrikant. Dritte Aufl. Mit erläuternden Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XVIII. Band. **Die Fabrikation der Schmiermittel, der Schuhwichse und Lederschmiere.** Darstellung aller bekannten Schmiermittel, als Wagenschmiere, Maschinenschmiere, der Schmieröle für Nähmaschinen und andere Arbeitsmaschinen und der Uhrmacheröle, ferner der Schuhwichse, Lederlacke und Lederschmiere für alle Gattungen von Leder. Von Richard Brunner, technischer Chemiker. Dritte Aufl. Mit 5 erläuternden Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 20 kr. = 2 M. 25 Pf.

XIX. Band. **Die Lohgerberei oder die Fabrikation des lohgaren Leders.** Ein Handbuch für Leder-Fabrikanten. Enthaltend die ausführliche Darstellung der Fabrikation des lohgaren Leders nach dem gewöhnlichen und Schnellgerbeverfahren, nebst der Anleitung zur Herstellung aller Gattungen Maschinenleder, des Juchten-, Saffian-, Corduan-, Chagrin- und Lackleders. Von Ferdinand Wiener, Leder-Fabrikant. Mit 43 Abbild. 35 Bog. 8. Eleg. geh. 4 fl. = 7 M. 20 Pf.

XX. Band. **Die Weißgerberei, Sämischgerberei und Pergament-Fabrikation.** Ein Handbuch für Leder-Fabrikanten. Enthaltend die ausführliche Darstellung der Fabrikation des weißgaren Leders nach allen Verfahrungsweisen, des Glacéleders, Seifenleders u. s. w.; der Sämischgerberei, der Fabrikation des Pergaments und der Lederfärberei, mit besonderer Berücksichtigung der neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Lederindustrie. Von Ferdinand Wiener, Leder-Fabrikant. Mit 20 Abbild. 27 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

XXI. Band. **Die chemische Bearbeitung der Schafwolle** oder das Ganze der Färberei von Wolle und wollenen Gespinnsten. Ein Hilfs- u. Lehrbuch für Färber, Färberei-Techniker, Tuch- u. Garn-Fabrikanten u. Solche, die es werden wollen. Dem heutigen Standpunkte der Wissenschaft entsprechend u. auf Grund eigener langjähr. Erfahrungen im In- u. Auslande vorzugsweise praktisch dargestellt. Von Victor Joclét Färber u. Fabriks-Dirigent. Mit 29 Abb. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mk.

XXII. Band. **Das Gesammtgebiet des Lichtdrucks,** die Emailphotographie, und anderweitige Vorschriften zur Umkehrung der negativen und positiven Glasbilder. Bearbeitet von J. Husnik, k. k. Professor in Prag. Dritte Auflage. Mit 38 Abbild. u. 3 Illustrationsbeilagen. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XXIII. Band. **Die Fabrikation der Conserven und Canditen.** Vollständige Darstellung aller Verfahren der Conservirung für Fleisch, Früchte, Gemüse, der Trockenfrüchte, der getrockneten Gemüse, Marmeladen, Fruchtsäfte u. s. w. und der Fabrikation aller Arten von Canditen, als: candirter Früchte, der verschiedenen Bonbons, der Rocks-Drops, der Dragées, Pralinées 2c. Von A. Hausner. 2. verbesserte und vermehrte Aufl. Mit 27 Abbild. 25 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

XXIV. Band. **Die Fabrikation des Surrogatkaffees und des Tafelsenfes.** Enthaltend: Die ausführliche Beschreibung der Zubereitung des Kaffees und seiner Bestandtheile; der Darstellung der Kaffee-Surrogate aus allen hierzu verwendeten Materialien und die Fabrikation aller Gattungen Tafelsenf. Von Karl Lehmann. Mit 9 Abbild. 9 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

XXV. Band. **Die Kitte und Klebemittel.** Ausführliche Anleitung zur Darstellung aller Arten von Kitten und Klebemitteln für Glas, Porzellan, Metalle, Leder, Eisen, Stein, Holz, Wasserleitungs- und Dampfröhren, sowie der Oel-, Harz-, Kautschuk-, Guttapercha-, Caseïn-, Leim-, Wasserglas-, Glycerin-, Kalk-, Gyps-, Eisen- und Zink-Kitte, des Marine-Leims, der Zahnkitte, Zeiodeliths und der zu speciellen Zwecken dienenden Kitte und Klebemittel. Von Sigmund Lehner. Dritte, sehr verm. u. verb. Aufl. 10 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

XXVI. Band. **Die Fabrikation der Knochenkohle und des Thieröles.** Eine Anleitung zur rationellen Darstellung der Knochenkohle oder des Spodiums und der plastischen Kohle, der Verwerthung aller sich hierbei ergebenden Nebenproducte und zur Wiederbelebung der gebrauchten Knochenkohle. Von Wilhelm Friedberg, technischer Chemiker. Mit 13 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

A. Hartleben's Chemisch-technische Bibliothek.

XXVII. Band. **Die Verwerthung der Weinrückstände.** Praktische Anleitung zur rationellen Verwerthung von Weintrester, Weinhefe (Weinlager, Geläger) und Weinstein. Mit einem Anhang: Die Erzeugung von Weinsprit und Cognac aus Wein. Handbuch für Weinproducenten, Weinhändler, Brennerei-Techniker, Fabrikanten chemischer Producte und Chemiker. Gemeinverständlich dargestellt von Antonio dal Piaz, techn. Chemiker. Zweite Auflage. Mit 23 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XXVIII. Band. **Die Alkalien.** Darstellung der Fabrikation der gebräuchlichsten Kali- und Natron-Verbindungen, der Soda, Potasche, des Salzes, Salpeters, Glaubersalzes, Wasserglases, Chromkalis, Blutlaugensalzes, Weinsteins, Laugensteins u. s. f., deren Anwendung und Prüfung. Ein Handbuch für Färber, Bleicher, Seifensieder, Fabrikanten von Glas, Zündwaaren, Lauge, Papier, Farben, überhaupt von chemischen Producten, für Apotheker und Droguisten. Von Dr. S. Pick, Fabriksbesitzer. Mit 24 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

XXIX. Band. **Die Bronzewaaren-Fabrikation.** Anleitung zur Fabrikation von Bronzewaaren aller Art, Darstellung ihres Gusses und Behandelns nach demselben, ihrer Färbung und Vergoldung, des Bronzirens überhaupt nach den älteren sowie bis zu den neuesten Verfahrungsweisen. Von Ludwig Müller, Metallwaaren-Fabrikant. Mit 25 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XXX. Band. **Vollständiges Handbuch der Bleichkunst** oder theoretische und praktische Anleitung zum Bleichen der Baumwolle, des Flachses, des Hanfes, der Wolle und Seide, sowie der daraus gesponnenen Garne und gewebten oder gewirkten Zeuge. Nebst einem Anhange über zweckmäßiges Bleichen der Hadern, des Papieres, der Wasch- und Badeschwämme, des Strohes und Wachses 2c. Nach den neuesten Erfahrungen durchgängig praktisch bearbeitet von Victor Joclét. Mit 30 Abbild. und 2 Tafeln. 24 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

XXXI. Band. **Die Fabrikation von Kunstbutter, Sparbutter und Butterine.** Eine Darstellung der Bereitung der Ersatzmittel der echten Butter nach den besten Methoden. Allgemein verständlich geschildert von Victor Lang. Zweite vermehrte Aufl. Mit 14 Abbild. 10 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

XXXII. Band. **Die Natur der Ziegelthone und die Ziegel-Fabrikation der Gegenwart.** Handbuch für technische Chemiker, Ziegeltechniker, Bau- und Maschinen-Ingenieure 2c. 2c. Von Dr. Hermann Zwick. Mit 123 Abbild. und 2 Tafeln. 38 Bog. 8. Eleg. geh. 4 fl. 60 kr. = 8 M. 30 Pf.

XXXIII. Band. **Die Fabrikation der Mineral- und Lackfarben.** Enthaltend: Die Anleitung zur Darstellung aller künstlichen Maler- und Anstreicherfarben, der Email- und Metallfarben. Ein Handbuch für Fabrikanten, Farbwaarenhändler, Maler und Anstreicher. Dem neuesten Stande der Wissenschaft entsprechend dargestellt von Dr. Josef Bersch. Mit 19 Abbild. 41 Bog. 8. Eleg. geh. 4 fl. 20 kr. = 7 M. 60 Pf.

XXXIV. Band. **Die künstlichen Düngemittel.** Darstellung der Fabrikation des Knochen-, Horn-, Blut-, Fleisch-Mehls, der Kalidünger, des schwefelsauren Ammoniaks, der verschiedenen Arten Superphosphate, der Poudrette u. s. f., sowie Beschreibung des natürlichen Vorkommens der concentrirten Düngemittel. Ein Handbuch für Fabrikanten künstlicher Düngemittel, Landwirthe, Zucker-Fabrikanten, Gewerbetreibende und Kaufleute. Von Dr. S. Pick, Fabrikant chemischer Producte. Zweite verm. Auflage. Mit 25 Abbild. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

XXXV. Band. **Die Zinkogravure** oder das Aetzen in Zink zur Herstellung von Druckplatten aller Art, nebst Anleitung zum Aetzen in Kupfer, Messing, Stahl und andere Metalle. Auf Grund eigener praktischer, vieljähriger Erfahrungen bearbeitet und herausgegeben von Julius Krüger. Zweite Auflage. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XXXVI. Band. **Medicinische Specialitäten.** Eine Sammlung aller bis jetzt bekannten und untersuchten medicinischen Geheimmittel mit Angabe ihrer Zusammensetzung nach den bewährtesten Chemikern. Gruppenweise zusammengestellt von C. F. Capaun-Karlowa, Apotheker. Zweite, vielfach vermehrte Auflage. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

XXXVII. Band. **Die Colorie der Baumwolle auf Garne und Gewebe mit besonderer Berücksichtigung der Türkischroth-Färberei.** Ein Lehr- und Handbuch für Interessenten dieser Branchen. Nach eigenen praktischen Erfahrungen zusammengestellt von Carl Romen, Director der Möllersdorfer Färberei, Bleicherei und Appretur. Mit 6 Abbild. 24 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 M.

XXXVIII. Band. **Die Galvanoplastik.** Ausführliche praktische Darstellung des galvanoplastischen Verfahrens in allen seinen Einzelheiten. In leichtfaßlicher Weise bearbeitet von Julius Weiß. Dritte Aufl. Mit 48 Abbild. 27 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XXXIX. Band. **Die Weinbereitung und Kellerwirthschaft.** Populäres Handbuch für Weinproducenten, Weinhändler und Kellermeister. Gemeinverständlich dargestellt auf Grundlage der neuesten wissenschaftlichen Forschungen der berühmtesten Oenologen und eigenen langjährigen praktischen Erfahrungen von Antonio dal Piaz. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 31 Abbild. 25 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XL. Band. **Die technische Verwerthung des Steinkohlentheers,** nebst einem Anhange: Ueber die Darstellung des natürlichen Asphalttheers und Asphaltmastix aus den Asphaltsteinen und bituminösen Schiefern und Verwerthung der Nebenproducte. Von Dr. Georg Thenius, technischer Chemiker. Mit 20 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XLI. Band. **Die Fabrikation der Erdfarben.** Enthaltend: Die Beschreibung aller natürlich vorkommenden Erdfarben, deren Gewinnung und Zubereitung. Handbuch für Farben-Fabrikanten, Maler, Zimmermaler, Anstreicher und Farbwaaren-Händler. Von Dr. Jos. Bersch. Mit 14 Abb. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XLII. Band. **Desinfectionsmittel** oder Anleitung zur Anwendung der praktischesten und besten Desinfectionsmittel, um Wohnräume, Krankensäle, Stallungen, Transportmittel, Leichenkammern, Schlachtfelder u. s. w. zu desinficiren. Von Wilhelm Heckenast. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

XLIII. Band. **Die Heliographie,** oder: Eine Anleitung zur Herstellung druckbarer Metallplatten aller Art, sowohl für Halbtöne als auch für Strich- und Kornmanier, ferner die neuesten Fortschritte im Pigmentdruck und Woodbury-Verfahren (oder Reliefdruck), nebst anderweitigen Vorschriften zur Herstellung der für die Heliographie geeigneten Negative. Mit einem Anhange: Ein Ueberblick der photomechanischen Verfahren zur Zeit der Weltausstellung in Paris 1878. Bearbeitet von J. Husnik, k. k. Professor in Prag. Mit 6 Illustrationen und 6 Tafeln. 14 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

XLIV. Band. **Die Fabrikation der Anilinfarbstoffe** und aller anderen aus dem Theere darstellbaren Farbstoffe (Phenyl-, Naphthalin-, Anthracen- und Resorcin-Farbstoffe) und deren Anwendung in der Industrie. Bearbeitet v. Dr. Josef Bersch. Mit 15 Abbild. 34 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 60 kr. = 6 M. 50 Pf.

XLV. Band. **Chemisch-technische Specialitäten und Geheimnisse,** mit Angabe ihrer Zusammenstellung nach den bewährtesten Chemikern. Alphabetisch zusammengestellt v. C. F. Capaun-Karlowa, Apotheker. 2. Aufl. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XLVI. Band. **Die Woll- und Seidendruckerei in ihrem ganzen Umfange.** Ein praktisches Hand- und Lehrbuch für Druck-Fabrikanten, Färber und technische Chemiker. Enthaltend: das Drucken der Wollen-, Halbwollen- und Halbseidenstoffe, der Wollengarne und seidenen Zeuge. Unter Berücksichtigung der neuesten Erfindungen und unter Zugrundelegung langjähriger praktischer Erfahrung. Bearbeitet von Victor Joclét, techn. Chemiker. Mit 54 Abbild. und 4 Tafeln. 37 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 60 kr. = 6 M. 50 Pf.

XLVII. Band. **Die Fabrikation des Rübenzuckers,** enthaltend: Die Erzeugung des Brotzuckers, des Rohzuckers, die Herstellung von Raffinad- und Candiszucker nebst einem Anhange über die Verwerthung der Nachproducte und Abfälle 2c. Zum Gebrauche als Lehr- und Handbuch leichtfaßlich dargestellt von Richard v. Regner, Chemiker. Mit 21 erläuternden Abbild. 14 Bog. 8. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

XLVIII. Band. **Farbenlehre.** Für die praktische Anwendung in den verschiedenen Gewerben und in der Kunstindustrie, bearbeitet von Alwin v. Wouwermans. Mit 7 Abbild. und 6 Farbtafeln. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 20 kr. = 2 M. 25 Pf.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

A. Hartleben's Chemisch-technische Bibliothek.

IL. Band. **Vollständige Anleitung zum Formen und Gießen** oder genaue Beschreibung aller in den Künsten und Gewerben dafür angewandten Materialien, als: Gyps, Wachs, Schwefel, Leim, Harz, Guttapercha, Thon, Lehm, Sand und deren Behandlung behufs Darstellung von Gypsfiguren, Stuccatur-, Thon-, Cement- und Steingut-Waaren, sowie beim Guß von Statuen, Glocken und den in der Messing-, Zink-, Blei- und Eisengießerei vorkommenden Gegenständen. Von Eduard Uhlenhuth. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 17 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

L. Band. **Die Bereitung der Schaumweine.** Mit besonderer Berücksichtigung der französischen Champagner-Fabrikation. Genaue Anweisung und Erläuterung der vollständigen rationellen Fabrikationsweise aller moussirenden Weine und Champagner. Mit Benützung des Robinet'schen Werkes, auf Grund eigener praktischer Erfahrungen und wissenschaftlicher Kenntnisse dargestellt und erläutert von A. v. Regner. Mit 28 Abbild. 25 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

LI. Band. **Kalk und Luftmörtel.** Auftreten und Natur des Kalksteines, das Brennen desselben und seine Anwendung zu Luftmörtel. Nach gegenwärtigem Stande von Theorie und Praxis dargestellt von Dr. Hermann Zwick. Mit 30 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LII. Band. **Die Legirungen.** Handbuch für Praktiker. Enthaltend: Die Darstellung sämmtlicher Legirungen, Amalgame und Lothe für die Zwecke aller Metallarbeiter, insbesondere für Erzgießer, Glockengießer, Bronzearbeiter, Gürtler, Sporer, Klempner, Gold- und Silberarbeiter, Mechaniker, Techniker u. s. w. Von A. Krupp. Mit 11 Abbild. 28 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

LIII. Band. **Unsere Lebensmittel.** Eine Anleitung zur Kenntniß der vorzüglichsten Nahrungs- und Genußmittel, deren Vorkommen und Beschaffenheit in gutem und schlechtem Zustande, sowie ihre Verfälschungen und deren Erkennung. Von C. F. Capaun-Karlowa. 10 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

LIV. Band. **Die Photokeramik,** das ist die Kunst, photographische Bilder auf Porzellan, Email, Glas, Metall u. s. w. einzubrennen. Als Lehr- und Handbuch nach eigenen Erfahrungen und mit Benützung der besten Quellen, bearbeitet und herausgegeben von Julius Krüger. Mit 19 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

LV. Band. **Die Harze und ihre Producte.** Deren Abstammung, Gewinnung und technische Verwerthung. Nebst einem Anhang: Ueber die Producte der trockenen Destillation des Harzes oder Colophoniums; das Camphin, das schwere Harzöl, das Codöl, und die Bereitung von Wagenfetten, Maschinenölen 2c. aus den schweren Harzölen, sowie die Verwendung derselben zur Leuchtgas-Erzeugung. Ein Handbuch für Fabrikanten, Techniker, Chemiker, Droguisten, Apotheker, Wagenfett-Fabrikanten und Brauer. Nach den neuesten Forschungen und auf Grundlage langjähriger Erfahrungen zusammengestellt von Dr. Georg Thenius. Mit 40 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LVI. Band. **Die Mineralsäuren.** Nebst einem Anhang: Der Chlorkalk und die Ammoniak-Verbindungen. Darstellung der Fabrikation von schwefliger Säure, Schwefel-, Salz-, Salpeter-, Kohlen-, Arsen-, Bor-, Phosphor-, Blausäure, Chlorkalk und Ammoniaksalzen, deren Untersuchung und Anwendung. Ein Handbuch für Apotheker, Droguisten, Färber, Bleicher, Fabrikanten von Farben, Zucker, Papier, Düngemittel, chemischen Producten, für Gastechniker u. s. f. Von Dr. S. Pick, Fabriksdirector. Mit 27 Abbild. 26 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

LVII. Band. **Wasser und Eis.** Eine Darstellung der Eigenschaften, Anwendung und Reinigung des Wassers für industrielle und häusliche Zwecke und der Aufbewahrung, Benützung und künstlichen Darstellung des Eises. Für Praktiker bearbeitet von Friedrich Ritter. Mit 35 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

LVIII. Band. **Hydraulischer Kalk u. Portland-Cement** nach Rohmaterialien, physikalischen u. chemischen Eigenschaften. Untersuchung, Fabrikation u. Werthstellung unter besonderer Rücksicht auf den gegenwärtigen Stand der Cement-Industrie. Bearbeitet v. Dr. H. Zwick. 28 Abb. 22 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

LIX. Band. **Die Glasätzerei für Tafel- und Hohlglas, Hell- und Mattätzerei in ihrem ganzen Umfange.** Alle bisher bekannten und viele neue Verfahren enthaltend; mit besonderer Berücksichtigung der Monumental-Glasätzerei. Leichtfaßlich dargestellt mit genauer Angabe aller erforderlichen Hilfsmittel von J. B. Miller, Glastechniker. Zweite Auflage. Mit 18 Abbild. 9 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

LX. Band. **Die explosiven Stoffe**, ihre Geschichte, Fabrikation, Eigenschaften, Prüfung und praktische Anwendung in der Sprengtechnik. Mit einem Anhange, enthaltend: Die Hilfsmittel der submarinen Sprengtechnik (Torpedos und Seeminen). Bearbeitet nach den neuesten wissenschaftlichen Erfahrungen von Dr. Fr. Böckmann, techn. Chemiker. Mit 31 Abbild. 28 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

LXI. Band. **Handbuch der rationellen Verwerthung, Wiedergewinnung und Verarbeitung von Abfallstoffen jeder Art.** Von Dr. Theodor Koller. Mit 22 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

LXII. Band. **Kautschuk und Guttapercha.** Eine Darstellung der Eigenschaften und der Verarbeitung des Kautschuks und der Guttapercha auf fabriksmäßigem Wege, der Fabrikation des vulcanisirten und gehärteten Kautschuks, der Kautschuk- und Guttapercha-Compositionen, der wasserdichten Stoffe. elastischen Gewebe u. s. w. Für die Praxis bearbeitet von Raimund Hoffer. Mit 8 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXIII. Band. **Die Kunst- und Feinwäscherei in ihrem ganzen Umfange.** Enthaltend: Die chemische Wäsche, Fleckenreinigungskunst, Kunstwäscherei, Hauswäscherei, die Strohhut-Bleicherei und Färberei, Handschuh-Wäscherei und Färberei ꝛc. Von Victor Joclét. Zweite Auflage. Mit 18 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LXIV. Band. **Grundzüge der Chemie in ihrer Anwendung auf das praktische Leben.** Für Gewerbetreibende und Industrielle im Allgemeinen, sowie für jeden Gebildeten. Bearbeitet von Dr. Willibald Artus, Professor in Jena. Mit 24 Abbild. 34 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

LXV. Band. **Die Fabrikation der Emaille und das Emailliren.** Anleitung zur Darstellung aller Arten Emaille für technische und künstlerische Zwecke und zur Vornahme des Emaillirens auf praktischem Wege. Für Emaillefabrikanten, Gold- und Metallarbeiter und Kunstindustrielle. Von Paul Randau, technischer Chemiker. Mit 8 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LXVI. Band. **Die Glas-Fabrikation.** Eine übersichtliche Darstellung der gesammten Glasindustrie mit vollständiger Anleitung zur Herstellung aller Sorten von Glas und Glaswaaren. Zum Gebrauche für Glasfabrikanten und Gewerbetreibende aller verwandten Branchen auf Grund praktischer Erfahrungen und der neuesten Fortschritte bearbeitet von Raimund Gerner, Glasfabrikant. Mit 50 Abbild. 23 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

LXVII. Band. **Das Holz und seine Destillations-Producte.** Ueber die Abstammung und das Vorkommen der verschiedenen Hölzer. Ueber Holz, Holzschleifstoff, Holzcellulose, Holzimprägnirung und Holzconservirung, Meiler- und Retorten-Verkohlung, Holzessig und seine technische Verarbeitung, Holztheer und seine Destillationsproducte, Holztheerpech und Holzkohlen nebst einem Anhange: Ueber Gaserzeugung aus Holz. Ein Handbuch für Waldbesitzer, Forstbeamte, Lehrer, Chemiker, Techniker und Ingenieure, nach den neuesten Erfahrungen praktisch und wissenschaftlich bearbeitet von Dr. Georg Thenius, techn. Chemiker. Mit 32 Abbild. 34 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

LXVIII. Band. **Die Marmorirkunst.** Ein Lehr-, Hand- und Musterbuch für Buchbindereien, Buntpapierfabriken und verwandte Geschäfte. Von Josef Phileas Boeck. Mit 30 Marmorpapier-Mustern und 6 Abbild. 6 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LXIX. Band. **Die Fabrikation des Wachstuches**, des amerikanischen Ledertuches, des Wachs-Taffets, der Maler- und Zeichen-Leinwand, sowie die Fabrikation des Theertuches, der Dachpappe und die Darstellung der unverbrennlichen und gegerbten Gewebe. Den Bedürfnissen der Praktiker entsprechend. Von Rudolf Eßlinger, Fabrikant. Mit 11 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

LXX. Band. **Das Celluloid**, seine Rohmaterialien, Fabrikation, Eigenschaften und technische Verwendung. Für Celluloid- und Celluloidwaaren-Fabrikanten, für alle Celluloid verarbeitenden Gewerbe, Zahnärzte und Zahntechniker. Von Dr. Fr. Böckmann, technischer Chemiker. Mit 8 Abbild. 7 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LXXI. Band. **Das Ultramarin und seine Bereitung** nach dem jetzigen Stande dieser Industrie. Von C. Fürstenau. Mit 25 Abbild. 7 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LXXII. Band. **Petroleum und Erdwachs.** Darstellung der Gewinnung von Erdöl und Erdwachs (Ceresin), deren Verarbeitung auf Leuchtöle und Paraffin, sowie aller anderen aus denselben zu gewinnenden Producte, mit einem Anhang, betreffend die Fabrikation von Photogen, Solaröl und Paraffin aus Braunkohlentheer. Mit besonderer Rücksichtnahme auf die aus Petroleum dargestellten Leuchtöle, deren Aufbewahrung und technische Prüfung. Von Arthur Burgmann, Chemiker. Mit 12 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXIII. Band. **Das Löthen und die Bearbeitung der Metalle.** Eine Darstellung aller Arten von Loth, Löthmitteln und Löthapparaten, sowie der Behandlung der Metalle während der Bearbeitung. Handbuch für Praktiker. Nach eigenen Erfahrungen bearbeitet von Edmund Schlosser. Mit 21 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LXXIV. Band. **Die Gasbeleuchtung im Haus und die Selbsthilfe des Gas-Consumenten.** Praktische Anleitung zur Herstellung zweckmäßiger Gasbeleuchtungen, mit Angabe der Mittel, eine möglichst große Gasersparniß zu erzielen. Von A. Müller. Mit 84 Abbild. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

LXXV. Band. **Die Untersuchung der im Handel und Gewerbe gebräuchlichsten Stoffe** (einschließlich der Nahrungsmittel). Gemeinverständlich dargestellt von Dr. S. Pick. Ein Handbuch für Handel- und Gewerbetreibende jeder Art, für Apotheker, Photographen, Landwirthe, Medicinal- und Zollbeamte. Mit 16 Abbild. 14 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

LXXVI. Band. **Das Verzinnen, Verzinken, Vernickeln, Verstählen** und das Ueberziehen von Metallen mit anderen Metallen überhaupt. Eine Darstellung praktischer Methoden zur Anfertigung aller Metallüberzüge aus Zinn, Zink, Blei, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Nickel, Kobalt und Stahl, sowie der Patina, der oxydirten Metalle und der Bronzirungen. Von Friedrich Hartmann. Zweite verbesserte Auflage. Mit 3 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LXXVII. Band. **Kurzgefaßte Chemie der Rübensaft-Reinigung.** Zum Gebrauche für praktische Zucker-Fabrikanten. Von W. Sykora und F. Schiller. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXVIII. Band. **Die Mineral-Malerei.** Neues Verfahren zur Herstellung witterungsbeständiger Wandgemälde. Technisch-wissenschaftliche Anleitung von A. Keim. 6 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

LXXIX. Band. **Die Chocolade-Fabrikation.** Eine Darstellung der verschiedenen Verfahren zur Anfertigung aller Sorten Chocoladen, der hierbei in Anwendung kommenden Materialien und Maschinen. Nach dem neuesten Stande der Technik geschildert von Ernst Saldau. Mit 34 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXX. Band. **Die Briquette-Industrie und die Brennmaterialien.** Mit einem Anhange: Die Anlage der Dampfkessel und Gasgeneratoren mit besonderer Berücksichtigung der rauchfreien Verbrennung. Von Dr. Friedrich Jünemann, technischer Chemiker. Mit 48 Abbild. 26 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

LXXXI. Band. **Die Darstellung des Eisens** und der Eisenfabrikate. Handbuch für Hüttenleute und sonstige Eisenarbeiter, für Techniker, Händler mit Eisen und Metallwaaren, für Gewerbe- und Fachschulen 2c. Von Eduard Japing. Mit 73 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXXII. Band. **Die Lederfärberei und die Fabrikation des Lackleders.** Ein Handbuch für Lederfärber und Lackirer. Anleitung zur Herstellung aller Arten von färbigem Glacéleder nach dem Anstreich- und Tauchverfahren, sowie mit Hilfe der Theerfarben, zum Färben von schwedischem, sämischgarem und lohgarem Leder, zur Saffian-, Corduan-, Chagrinfärberei 2c. und zur Fabrikation von schwarzem und färbigem Lackleder. Von Ferdinand Wiener, Leder-Fabrikant. Mit 15 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LXXXIII. Band. **Die Fette und Oele.** Darstellung der Eigenschaften aller Fette und Oele, der Fett- und Oelraffinerie und der Kerzenfabrikation. Nach dem neuesten Stande der Technik leichtfaßlich geschildert von Friedrich Thalmann. Mit 31 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

LXXXIV. Band. **Die Fabrikation der moussirenden Getränke und der künstlichen Mineralwässer.** Praktische Anleitung zur Fabrikation aller moussirenden Wässer, Limonaden, Weine 2c. Von Oscar Meitz. Mit 20 Abbild. 10 Bog. 8. Eleg. geh. Preis 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

A. Hartleben's Chemisch-technische Bibliothek.

LXXXV. Band. **Gold, Silber und Edelsteine.** Handbuch für Gold-, Silber-Bronzearbeiter und Juweliere. Vollständige Anleitung zur technischen Bearbeitung der Edelmetalle, enthaltend das Legiren, Gießen, Bearbeiten, Emailliren, Färben und Oxydiren, das Vergolden, Incrustiren und Schmücken der Gold- und Silberwaaren mit Edelsteinen und die Fabrikation des Imitationsschmuckes. Von Alexander Wagner. Mit 14 Abbild. 8. Eleg. geh. Preis 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXXVI. Band. **Die Fabrikation der Aether und Grundessenzen.** Die Aether, Fruchtäther, Fruchtessenzen, Fruchtextracte, Fruchtsyrupe, Tincturen zum Färben und Klärungsmittel. Nach den neuesten Erfahrungen bearbeitet von Dr. Th. Horatius. Mit 14 Abbild. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

LXXXVII. Band. **Die technischen Vollendungs-Arbeiten der Holz-Industrie,** das Schleifen, Beizen, Poliren, Lackiren, Anstreichen und Vergolden des Holzes, nebst der Darstellung der hierzu verwendbaren Materialien in ihren Hauptgrundzügen. Von L. E. Andés. Mit 20 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

LXXXVIII. Band. **Die Fabrikation von Albumin und Eierconserven.** Eine Darstellung der Eigenschaften der Eiweißkörper und der Fabrikation von Eier- und Blutalbumin, des Patent- und Naturalbumins, der Eier- und Dotter-Conserven und der zur Conservirung frischer Eier dienenden Verfahren. Von Karl Ruprecht. Mit 13 Abbild. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 20 kr. = 2 M. 25 Pf.

LXXXIX. Band. **Die Feuchtigkeit der Wohngebäude,** der Mauerfraß und Holzschwamm, nach Ursache, Wesen und Wirkung betrachtet und die Mittel zur Verhütung sowie zur sicheren und nachhaltigen Beseitigung dieser Uebel unter besonderer Hervorhebung eines neuen und praktisch bewährten Verfahrens zur Trockenlegung feuchter Wände und Wohnungen. Für Baumeister, Bautechniker, Gutsverwalter, Tüncher, Maler und Hausbesitzer. Von A. Keim, technischer Director in München. Mit 14 Abbild. 8 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XC. Band. **Die Verzierung der Gläser durch den Sandstrahl.** Vollständige Unterweisung zur Mattverzierung von Tafel- und Hohlglas mit besonderer Berücksichtigung der Beleuchtungsartikel. Viele neue Verfahren: Das Lasiren der Gläser. Die Mattdecoration von Porzellan und Steingut. Das Mattiren und Verzieren der Metalle. Nebst einem Anhange: Die Sandblas-Maschinen. Von J. B. Miller, Glastechniker. Mit 8 Abbild. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XCI. Band. **Die Fabrikation des Alauns,** der schwefelsauren und essigsauren Thonerde, des Bleiweißes und Bleizuckers. Von Friedrich Jünemann, technischer Chemiker. Mit 9 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XCII. Band. **Die Tapete,** ihre ästhetische Bedeutung und technische Darstellung, sowie kurze Beschreibung der Buntpapier-Fabrikation. Zum Gebrauche für Musterzeichner, Tapeten- und Buntpapier-Fabrikanten. Von Th. Seemann. Mit 42 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XCIII. Band. **Die Glas-, Porzellan- und Email-Malerei in ihrem ganzen Umfange.** Ausführliche Anleitung zur Anfertigung sämmtlicher bis jetzt zur Glas-, Porzellan-, Email-, Fayence- und Steingut-Malerei gebräuchlichen Farben und Flüsse, nebst vollständiger Darstellung des Brennens dieser verschiedenen Stoffe. Unter Zugrundelegung der neuesten Erfindungen und auf Grund eigener in Sèvres und anderen großen Malereien und Fabriken erworbenen Kenntnisse bearb. und herausg. von Felix Hermann. Mit 10 Abbild. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XCIV. Band. **Die Conservirungsmittel.** Ihre Anwendung in den Gährungsgewerben und zur Aufbewahrung von Nahrungsstoffen. Eine Darstellung der Eigenschaften der Conservirungsmittel und deren Anwendung in der Bierbrauerei, Weinbereitung, Essig- und Preßhefe-Fabrikation 2c. Von Dr. Josef Bersch. Mit 8 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

XCV. Band. **Die elektrische Beleuchtung** und ihre Anwendung in der Praxis. Mit besonderer Berücksichtigung der Ergebnisse der internationalen elektrischen Ausstellung in Paris im Jahre 1881. Verfaßt von Dr. Alfred v. Urbanitzky, Assistent an der k. k. technischen Hochschule in Wien. Mit 85 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

XCVI. Band. **Preßhefe, Kunsthefe und Backpulver.** Ausführliche Anleitung zur Darstellung von Preßhefe nach allen bekannten Methoden, zur Bereitung der Kunsthefe und der verschiedenen Arten von Backpulver. Praktisch geschildert von Adolf Wilfert. Mit 16 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

A. Hartleben's Chemisch-technische Bibliothek.

XCVII. Band. **Der praktische Eisen- und Eisenwaarenkenner.** Kaufmännisch-technische Eisenwaarenkunde. Ein Handbuch für Händler mit Eisen- und Stahlwaaren, Fabrikanten, Ex- und Importeure, Agenten für Eisenbahn- und Baubehörden, Handels- und Gewerbeschulen 2c. Von Eduard Japing, dipl. Ingenieur und Redacteur, früher Eisenwerks-Director. Mit 98 Abbild. 37 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

XCVIII. Band. **Die Keramik** oder Die Fabrikation von Töpfer-Geschirr, Steingut, Fayence, Steinzeug, Terralith, sowie von französischem, englischem und Hartporzellan. Anleitung für Praktiker zur Darstellung aller Arten keramischer Waaren nach deutschem, französischem u. englischem Verfahren. Von Ludwig Wipplinger. Mit 45 Abbild. 24 Bogen. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

IC. Band. **Das Glycerin.** Seine Darstellung, seine Verbindungen und Anwendung in den Gewerben, in der Seifen-Fabrikation, Parfümerie und Sprengtechnik. Für Chemiker, Parfümeure, Seifen-Fabrikanten, Apotheker, Sprengtechniker und Industrielle geschildert von S. W. Koppe. Mit 20 Abbild. 13 Bogen. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

C. Band. **Handbuch der Chemigraphie,** Hochätzung in Zink für Buchdruck mittelst Umdruck von Autographien und Photogrammen und directer Copirung oder Radirung des Bildes auf die Platte (Photo-Chemigraphie und Chalco-Chemigraphie). Von W. F. Toifel. Mit 14 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CI. Band. **Die Imitationen.** Eine Anleitung zur Nachahmung von Natur- und Kunstproducten, als: Elfenbein, Schildpatt, Perlen und Perlmutter, Korallen, Bernstein, Horn, Hirschhorn, Fischbein, Alabaster 2c., sowie zur Anfertigung von Kunst-Steinmassen, Nachbildungen von Holzschnitzereien, Bildhauer-Arbeiten, Mosaiken, Intarsien u. s. w. Für Gewerbetreibende und Künstler. Von Sigmund Lehner. Mit 10 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CII. Band. **Die Fabrikation der Copal-, Terpentinöl- und Spiritus-Lacke.** Von Louis Edgar Andés. Mit 38 Abbild. 28 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. = 5 M. 40 Pf.

CIII. Band. **Kupfer und Messing,** sowie alle technisch wichtigen Kupferlegierungen, ihre Darstellungsmethoden, Eigenschaften und Weiterverarbeitung zu Handelswaaren. Von Eduard Japing. Mit 41 Abbild. 14 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CIV. Band. **Die Bereitung der Brennerei-Kunsthefe.** Auf Grundlage vieljähriger Erfahrungen geschildert von Josef Reis, Brennerei-Director. 4 Bog. 8. Eleg. geh. 80 kr. = 1 M. 50 Pf.

CV. Band. **Die Verwerthung des Holzes auf chemischem Wege.** Eine Darstellung der Verfahren zur Gewinnung der Destillationsproducte des Holzes, der Essigsäure, des Holzgeistes, des Theeres und der Theeröle, des Creosotes, des Rußes, des Röstholzes und der Kohlen. Die Fabrikation von Oxalsäure, Alkohol und Cellulose, der Gerb- und Farbstoff-Extracte aus Rinden und Hölzern, der ätherischen Oele und Harze. Für Praktiker geschildert von Dr. Josef Bersch. Mit 56 Abbild. 22 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CVI. Band. **Die Fabrikation der Dachpappe und der Anstrichmasse** für Pappdächer in Verbindung mit der Theer-Destillation nebst Anfertigung aller Arten von Pappbedachungen und Asphaltirungen. Ein Handbuch für Dachpappe-Fabrikanten, Baubeamte, Bau-Techniker, Dachdecker und Chemiker. Von Dr. E. Luhmann techn. Chemiker. Mit 47 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CVII. Band. **Anleitung zur chemischen Untersuchung und rationellen Beurtheilung der landwirthschaftlich wichtigsten Stoffe.** Ein den praktischen Bedürfnissen angepaßtes analytisches Handbuch für Landwirthe, Fabrikanten künstlicher Düngemittel, Chemiker, Lehrer der Agriculturchemie und Studirende höherer landwirthschaftlicher Lehranstalten. Nach dem neuesten Stande der Praxis verfaßt von Robert Heinze. Mit 15 Abbild. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CVIII. Band. **Das Lichtpausverfahren** in theoretischer und praktischer Beziehung. Von H. Schuberth. Mit 4 Abbild. 8 Bog. 8. Eleg. geh. 80 kr. = 1 M. 50 Pf.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

CIX. Band. **Zink, Zinn und Blei.** Eine ausführliche Darstellung der Eigenschaften dieser Metalle, ihrer Legirungen unter einander und mit anderen Metallen, sowie ihrer Verarbeitung auf physikalischem Wege. Für Metallarbeiter und Kunst-Industrielle geschildert von Karl Richter. Mit 8 Abbild. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CX. Band. **Die Verwerthung der Knochen auf chemischem Wege.** Eine Darstellung der Verarbeitung von Knochen auf alle aus denselben gewinnbaren Producte, insbesondere von Fett, Leim, Düngemitteln und Phosphor. Von Wilhelm Friedberg. Mit 20 Abbild. 20 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXI. Band. **Die Fabrikation der wichtigsten Antimon-Präparate.** Mit besonderer Berücksichtigung des Brechweinsteines und Goldschwefels. Von Julius Oehme. Mit 27 Abbild. 9 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

CXII. Band. **Handbuch der Photographie der Neuzeit.** Mit besonderer Berücksichtigung des Bromsilber-Gelatine-Emulsions-Verfahrens. Von Julius Krüger. Mit 61 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXIII. Band. **Draht und Drahtwaaren.** Praktisches Hilfs- und Handbuch für die gesammte Drahtindustrie, Eisen- und Metallwaarenhändler, Gewerbe- und Fachschulen. Mit besonderer Rücksicht auf die Anforderungen der Elektrotechnik. Von Eduard Japing, Ingenieur und Redacteur. Mit 119 Abbild. 29 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 60 kr. = 6 M. 50 Pf.

CXIV. Band. **Die Fabrikation der Toilette-Seifen.** Praktische Anleitung zur Darstellung aller Arten von Toilette-Seifen auf kaltem und warmem Wege, der Glycerin-Seife, der Seifenkugeln, der Schaumseifen und der Seifen-Specialitäten. Mit Rücksicht auf die hierbei in Verwendung kommenden Maschinen und Apparate geschildert von Friedrich Wiltner, Seifenfabrikant. Mit 39 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXV. Band. **Praktisches Handbuch für Anstreicher und Lackirer.** Anleitung zur Ausführung aller Anstreicher-, Lackirer-, Vergolder- und Schriftenmaler-Arbeiten, nebst eingehender Darstellung aller verwendeter Rohstoffe und Utensilien von Louis Edgar Andés. Mit 14 Abbild. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CXVI. Band. **Die praktische Anwendung der Theerfarben in der Industrie.** Praktische Anleitung zur rationellen Darstellung der Anilin-, Phenyl-, Naphthalin- und Anthracen-Farben in der Färberei, Druckerei, Buntpapier-, Tinten- und Zündwaaren-Fabrikation. Praktisch dargestellt von E. J. Höbl, Chemiker. Mit 20 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

CXVII. Band. **Die Verarbeitung des Hornes, Elfenbeins, Schildpatts, der Knochen und der Perlmutter.** Abstammung und Eigenschaften dieser Rohstoffe, ihre Zubereitung, Färbung u. Verwendung in der Drechslerei, Kamm- und Knopffabrikation, sowie in anderen Gewerben. Ein Handbuch für Horn- u. Bein-Arbeiter, Kammmacher, Knopffabrikanten, Drechsler, Spielwaarenfabrikanten 2c. 2c. Von Louis Edgar Andés. Mit 32 Abbild. 15 Bog. 8. Geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXVIII. **Die Kartoffel- und Getreidebrennerei.** Handbuch für Spiritusfabrikanten, Brennereileiter, Landwirthe und Techniker. Enthaltend: Die praktische Anleitung zur Darstellung von Spiritus aus Kartoffeln, Getreide, Mais und Reis, nach den älteren Methoden und nach dem Hochdruckverfahren. Dem neuesten Standpunkte der Wissenschaft und Praxis gemäß populär geschildert von Adolf Wilfert. Mit 88 Abbild. 29 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. = 5 M. 40 Pf

CXIX. Band. **Die Reproductions-Photographie** sowohl für Halbton als Strichmanier nebst den bewährtesten Copirprocessen zur Uebertragung photographischer Glasbilder aller Art auf Zink und Stein. Von J. Husnik, k. k. Professor am I. Staats-Realgymnasium in Prag, Ehrenmitglied der Photographischen Vereine zu Berlin und Prag 2c. Mit 34 Abbild. und 7 Tafeln. 13 Bogen. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CXX. Band. **Die Beizen, ihre Darstellung, Prüfung und Anwendung.** Für den praktischen Färber und Zeugdrucker bearbeitet von H. Wolff, Lehrer der Chemie am Zürcherischen Technikum in Winterthur. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXXI. Band. **Die Fabrikation des Aluminiums und der Alkalimetalle.** Von Dr. Stanislaus Mierzinski. Mit 27 Abbild. 9 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

CXXII. Band. **Die Technik der Reproduction von Militär-Karten und Plänen** nebst ihrer Vervielfältigung, mit besonderer Berücksichtigung jener Verfahren, welche im k. k. militär-geographischen Institute zu Wien ausgeübt werden. Von Ottomar Volkmer, k. k. Oberstlieutenant der Artillerie und Vorstand der technischen Gruppe im k. k. militär-geographischen Institute. Mit 57 Abbild. im Texte und einer Tafel. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXXIII. Band. **Die Kohlensäure.** Eine ausführliche Darstellung der Eigenschaften, des Vorkommens, der Herstellung und technischen Verwendung dieser Substanz. Ein Handbuch für Chemiker, Apotheker, Fabrikanten künstlicher Mineralwässer, Bierbrauer und Gastwirthe. Von Dr. E. Luhmann, Chemiker. Mit 47 Abbild. 16 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXXIV. Band. **Die Fabrikation der Siegel- und Flaschenlacke.** Enthaltend die Anleitung zur Erzeugung von Siegel- und Flaschenlacken, die eingehende Darstellung der Rohmaterialien, Utensilien und maschinellen Vorrichtungen. Mit einem Anhange: Die Fabrikation des Brauer-, Wachs-, Schuhmacher- und Bürstenpeches. Von Louis Edgar Andés. Mit 21 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXXV. Band. **Die Teigwaaren-Fabrikation.** Mit einem Anhange: Die Panier- und Mutschelmehl-Fabrikation. Eine auf praktische Erfahrung begründete, gemeinverständliche Darstellung der Fabrikation aller Arten Teigwaaren, sowie des Panier- und Mutschelmehles mittelst Maschinenbetriebes, nebst einer Schilderung sämmtlicher Maschinen und der verschiedenen Rohproducte. Mit Beschreibung und Plan einer Teigwaaren-Fabrik. Leichtfaßlich geschildert von Friedrich Oertel, Teigwaaren-Fabrikant (Jury-Mitglied der bayrischen Landesausstellung 1882, Gruppe Nahrungsmittel), Mitarbeiter der allgemeinen Bäcker- und Conditor-Zeitung in Stuttgart. Mit 43 Abbild. 11 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

CXXVI. Band. **Praktische Anleitung zur Schriftmalerei** mit besonderer Berücksichtigung der Construction und Berechnung von Schriften für bestimmte Flächen, sowie der Herstellung von Glas-Glanzvergoldung und Versilberung für Glasfirmentafeln 2c. Nach eigenen praktischen Erfahrungen bearbeitet von Robert Hagen. Mit 18 Abbild. 7 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

CXXVII. Band. **Die Meiler- und Retorten-Verkohlung.** Die liegenden und stehenden Meiler. Die gemauerten Holzverkohlungs-Oefen und die Retorten-Verkohlung. Ueber Kiefer-, Kien- und Buchenholztheer-Erzeugung, sowie Birkentheer-Gewinnung. Die technisch-chemische Bearbeitung der Nebenproducte der Holzverkohlung, wie Holzessig, Holzgeist und Holztheer. Die Rothsalz-Fabrikation, das schwarze und graue Rothsalz. Die Holzgeist-Erzeugung und die Verarbeitung des Holztheers auf leichte und schwere Holztheeröle; sowie die Erzeugung des Holztheerparaffins und Verwerthung des Holztheerpeches. Nebst einem Anhang: Ueber die Rußfabrikation aus harzigen Hölzern, Harzen, harzigen Abfällen und Holztheerölen. Ein Handbuch für Herrschaftsbesitzer, Forstbeamte, Fabrikanten, Chemiker, Techniker und Praktikanten. Nach den neuesten Erfahrungen praktisch und wissenschaftlich bearbeitet von Dr. Georg Thenius, Chemiker und Techniker. Mit 80 Abbild. 22 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXXVIII. Band. **Die Schleif-, Polir- und Putzmittel** für Metalle aller Art, Glas, Holz, Edelsteine, Horn, Schildpatt, Perlmutter, Steine u. s. w., ihr Vorkommen, ihre Eigenschaften, Herstellung und Verwendung, nebst Darstellung der gebräuchlichsten Schleifvorrichtungen. Ein Handbuch für technische und gewerbliche Schulen, Eisenwerke, Maschinenfabriken, Glas-, Metall- und Holz-Industrieller, Gewerbetreibende und Kaufleute. Von Victor Wahlburg. Mit 66 Abbild. 23 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXXIX. Band. **Lehrbuch der Verarbeitung der Naphtha** oder des Erdöles auf Leucht- und Schmieröle. Von F. A. Roßmäßler. Mit 25 Abbild. 8 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 10 kr. = 2 Mark.

CXXX. Band. **Die Zinkätzung** (Chemigraphie, Zinkotypie). Eine faßliche Anleitung nach den neuesten Fortschritten alle in den bekannten Manieren auf Zink oder ein anderes Metall übertragenen Bilder hoch zu ätzen und für die typographische Presse geeignete Druckplatten herzustellen. Von J. Husnik, k. k. Professor am I. Staats-Realgymnasium in Prag. Mit 16 Abbild. und vier Tafeln. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXXXI. Band. **Die Fabrikation der Kautschuk- und Leimmasse-Typen, Stempel und Druckplatten, sowie die Verarbeitung des Korkes und der Korkabfälle.** Darstellung der Fabrikation von Kautschuk- und Leimmasse-Typen und Stempel, der Celluloid-Stampiglien, der hiezugehörigen Apparate, Vorrichtungen, der erforderlichen Stempelfarben, der Buch- und Steindruckwalzen, Fladerdruckplatten, elastischen Formen für Stein- und Gypsguß; ferner der Gewinnung, Eigenschaften und Verarbeitung des Korkes zu Pfropfen, der hierbei resultirenden Abfälle zu künstlichen Pfropfen, Korksteinen, ꝛc. Von August Stefan. Mit 65 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXXXII. Band. **Das Wachs und seine technische Verwendung.** Darstellung der natürlichen animalischen und vegetabilischen Wachsarten, des Mineralwachses (Ceresin), ihrer Gewinnung, Reinigung, Verfälschung und Anwendung in der Kerzenfabrikation, zu Wachsblumen u. Wachsfiguren, Wachspapier, Salben u. Pasten, Pomaden, Farben, Lederschmieren, Fußbodenwichsen u. vielen anderen techn. Zwecken. Von Ludwig Sedna. Mit 33 Abbild. 10 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 35 kr. = 2 M. 50 Pf.

CXXXIII. Band. **Asbest und Feuerschutz.** Enthaltend: Vorkommen, Verarbeitung und Anwendung des Asbestes, sowie den Feuerschutz in Theatern, öffentlichen Gebäuden u. s. w., durch Anwendung von Asbestpräparaten, Imprägnirungen und sonstigen bewährten Vorkehrungen. Von Wolfgang Venerand. Mit 47 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CXXXIV. Band. **Die Appreturmittel und ihre Verwendung.** Darstellung aller in der Appretur verwendeten Hilfsstoffe, ihrer speciellen Eigenschaften, der Zubereitung zu Appreturmassen und ihrer Verwendung zum Appretiren von leinenen, baumwollenen, seidenen und wollenen Geweben; feuersichere und wasserdichte Appreturen nebst den hauptsächlichsten maschinellen Vorrichtungen. Ein Hand- und Hilfsbuch für Appreteure, Drucker, Färber, Bleicher, Wäschereien. Von Friedrich Polleyn. Mit 38 Abbild. 25 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXXXV. Band. **Die Fabrikation von Rum, Arrak und Cognac** und allen Arten von Obst- und Früchtenbranntweinen, sowie die Darstellung der besten Nachahmungen von Rum, Arrak, Cognac, Pflaumenbranntwein (Slibowitz), Kirschwasser u. s. w. Nach eigenen Erfahrungen geschild. von August Gaber, gepr. Chemiker und prakt. Destillateur. Mit 45 Abbild. 25 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXXXVI. Band. **Handbuch der praktischen Seifen-Fabrikation.** Von Alwin Engelhardt. Erster Band. Die in der Seifen-Fabrikation angewendeten Rohmaterialien, Maschinen und Geräthschaften. Mit 66 Abbild. 27 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

CXXXVII. Band. **Handbuch der praktischen Seifen-Fabrikation.** Von Alwin Engelhardt. Zweiter Band. Die gesammte Seifen-Fabrikation nach dem neuesten Standpunkte der Praxis und Wissenschaft. Mit 20 Abbild. 33 Bog. 8. Geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

CXXXVIII. Band. **Handbuch der praktischen Papier-Fabrikation.** Von Dr. Stanislaus Mierzinski. Erster Band: Die Herstellung des Papiers aus Hadern auf der Papiermaschine. Mit 166 Abbild. u. mehr. Tafeln. 30 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark. (Siehe auch die Bände 141, 142.)

CXXXIX. Band. **Die Filter für Haus und Gewerbe.** Eine Beschreibung der wichtigsten Sand-, Gewebe-, Papier-, Kohle-, Eisen-, Stein-, Schwamm- u. s. w. Filter u. der Filterpressen. Mit besond. Berücksichtigung d. verschied. Verfahren zur Untersuchung, Klärung u. Reinigung d. Wassers u. d. Wasserversorgung von Städten. Für Behörden, Fabrikanten, Chemiker, Techniker, Haushaltungen u. s. w. bearbeitet von Richard Krüger. Ingenieur, Lehrer an den techn. Fachschulen der Stadt Buxtehude bei Hamburg. Mit 72 Abbild. 17 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CXL. Band. **Blech und Blechwaaren.** Prakt. Handbuch f. die gesammte Blechindustrie, f. Hüttenwerke, Constructions-Werkstätten, Maschinen- u. Metallwaaren-Fabriken, sowie f. d. Unterricht an technischen u. Fachschulen. Von Eduard Japing. Ingenieur u. Redacteur. Mit 125 Abbild. 28 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. = 5 M. 40 Pf.

CXLI. Band. **Handbuch der praktischen Papier-Fabrikation.** Von Dr. Stanislaus Mierzinski. In drei Bänden.

Zweiter Band. Die Ersatzmittel der Hadern. Mit 114 Abbild. 21 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark. (Siehe auch Band 138 und 142.)

CXLII. Band. Dritter Band. Anleitung zur Untersuchung der in der Papier-Fabrikation vorkommenden Rohproducte. Mit 28 Abbild. 15 Bog. 8 Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf. (Siehe auch Band 138 und 141.)

A. Hartleben's Chemisch-technische Bibliothek.

CXLIII. Band. **Wasserglas und Infusorienerde, deren Natur und Bedeutung für Industrie, Technik und die Gewerbe.** Von Hermann Krätzer. Mit 32 Abbild. 13 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXLIV. Band. **Die Verwerthung der Holzabfälle.** Eingehende Darstellung der rationellen Verarbeitung aller Holzabfälle, namentlich der Sägespäne, ausgenützten Farbhölzer und Gerberrinden als Heizungsmaterialien, zu chemischen Producten, zu künstlichen Holzmassen, Explosivstoffen, in der Landwirthschaft als Düngemittel und zu vielen anderen technischen Zwecken. Ein Handbuch für Waldbesitzer, Holzindustrielle Landwirthe 2c. 2c. Von Ernst Hubbard. Mit 35 Abbild. 14 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CXLV. Band. **Die Malz-Fabrikation.** Eine Darstellung der Bereitung von Grün-, Luft- und Darrmalz nach den gewöhnlichen und den verschiedenen mechanischen Verfahren. Von Karl Weber. Mit 77 Abbild. 22 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 50 kr. = 4 M. 50 Pf.

CXLVI. Band. **Chemisch-technisches Receptbuch für die gesammte Metall-Industrie.** Eine Sammlung ausgewählter Vorschriften für die Bearbeitung aller Metalle, Decoration und Verschönerung daraus gefertigter Arbeiten, sowie deren Conservirung. Ein unentbehrliches Hilfs- und Handbuch für alle Metalle verarbeitenden Gewerbe. Von Heinrich Bergmann. 18 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CXLVII. Band. **Die Gerb- und Farbstoff-Extracte.** Von Dr. Stanislaus Mierzinski. Mit 59 Abbild. 15 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CXLVIII. Band. **Die Dampf-Brauerei.** Eine Darstellung des gesammten Brauwesens nach dem neuesten Stande des Gewerbes. Mit besond. Berücksichtigung der Dickmaisch- (Decoctions-) Brauerei nach bayrischer, Wiener und böhmischer Braumethode und des Dampfbetriebes. Für Praktiker geschildert von Franz Cassian, Brauereileiter. Mit 55 Abbild. 24 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 75 kr. = 5 Mark.

CXLIX. Band. **Praktisches Handbuch für Korbflechter.** Enthaltend die Zurichtung der Flechtweiden und Verarbeitung derselben zu Flechtwaaren, die Verarbeitung des spanischen Rohres, des Strohes, die Herstellung von Sparteriewaaren, Strohmatten und Rohrdecken, das Bleichen, Färben, Lackiren und Vergolden der Flechtarbeiten, das Bleichen und Färben des Strohes u. s. w. Von Louis Edgar Andés. Mit 82 Abbild. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 80 kr. = 3 M. 25 Pf.

CL. Band. **Handbuch der praktischen Kerzen-Fabrikation.** Von Alwin Engelhardt. Mit 58 Abbild. 27 Bog. 8. Eleg. geh. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

CLI. Band. **Die Fabrikation künstlicher plastischer Massen,** sowie der künstlichen Steine, Kunststeine, Stein- und Cementgüsse. Eine ausführliche Anleitung zur Herstellung aller Arten künstlicher plastischer Massen aus Papier, Papier- und Holzstoff, Cellulose, Holzabfällen, Gyps, Kreide, Leim, Schwefel, Chlorzink und vielen anderen, bis nun wenig verwendeten Stoffe, sowie des Stein- und Cementgusses unter Berücksichtigung der Fortschritte bis auf die jüngste Zeit. Von Johannes Höfer. Mit 44 Abbild. 19 Bog. 8. Eleg. geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLII. Band. **Die Färberei à Ressort und das Färben der Schmuckfedern.** Leichtfaßliche Anleitung, gewebte Stoffe aller Art neu zu färben oder umzufärben und Schmuckfedern zu appretiren und zu färben. Von Alfred Brauner. Mit 13 Abbild. 12 Bog. 8. Eleg. geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLIII. Band. **Die Brillen, das dioptrische Fernrohr und Mikroskop.** Ein Handbuch für praktische Optiker von Dr. Carl Neumann. Nebst einem Anhange, enthaltend die Burow'sche Brillen-Scala und das Wichtigste aus dem Productions- und Preisverzeichnisse der Glasschmelzerei für optische Zwecke von Schott & Gen. in Jena. Mit 95 Abbild. 17 Bog. 8. Geh. 2 fl. 20 kr. = 4 Mark.

CLIV. Band. **Die Fabrikation der Silber- und Quecksilber-Spiegel** oder das Belegen der Spiegel auf chemischem und mechanischem Wege. Von Ferdinand Cremer. Mit 37 Abbild. 13 Bog. 8. Geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

CLV. Band. **Die Technik der Radirung.** Eine Anleitung zum Radiren und Aetzen auf Kupfer. Von J. Roller, k. k. Professor. 11 Bog. 8. Geh. 1 fl. 65 kr. = 3 Mark.

Jeder Band ist einzeln zu haben. In eleganten Ganzleinwandbänden, Zuschlag per Band 45 Kr. = 80 Pf. zu den oben bemerkten Preisen.

